



João Vieira Ramos Ferreira

Licenciado em Ciências de Engenharia Mecânica

Contributos para o aumento do rendimento de uma unidade de trituração de cortiça

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador: Doutor João Manuel Vicente Fradinho, Professor Auxiliar
da Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa

Co-Orientador: Engenheiro Venâncio Manuel Rodrigues Fernandes,

Diretor Industrial da Unidade DS- Amorim & Irmãos

Coordenador Técnico de Triturações da Amorim & Irmãos

Setembro de 2017



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Contributos para o aumento do rendimento de uma trituração de cortiça

Copyright

**Copyright em nome de João Vieira Ramos Ferreira, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade Nova de Lisboa**

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Engenheiro Venâncio Fernandes e aos restantes engenheiros da Unidade Industrial De Sousa pela possibilidade de realizar um estágio e a minha dissertação num grupo tão conceituado como o Grupo Amorim e por toda a ajuda proporcionada durante os seis meses de estágio.

A todos os operadores desta unidade industrial, em especial ao responsável do setor da trituração, Carlos Ribeiro, por todo o apoio e disponibilidade demonstrado, na transação dos conhecimentos referentes ao processo e a facilitar a realização de todos os testes propostos.

Agradeço ao meu orientador Professor João Fradinho, por todo o apoio e ajuda a desenvolver todo este projeto e a construir o corpo desta dissertação.

A todos os estagiários que conheci durante os seis meses que passei num sítio desconhecido. Apoiaram-me, ajudaram-me e levaram-me a conhecer os hábitos e os diferentes locais da cidade do Porto.

À pessoa que me acolheu na sua casa, durante estes seis meses de estágio. Pelo apoio inconcebível e por me ter tratado como um verdadeiro amigo.

A toda a minha família e amigos externos à faculdade por sempre acreditarem em mim e na minha formação.

A todos os colegas de engenharia mecânica, que agora os intitulo de amigos e que facilitaram todo o percurso que durou cinco anos. Sem eles todo este percurso, teria sido muito mais complicado de finalizar.

A todos os docentes do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, que tentaram instruir-me da melhor forma e passar-me todos os seus conhecimentos relativos ao mercado de trabalho.

Resumo

Esta dissertação tem como objetivo a análise ao processo de trituração da cortiça do Grupo Amorim & Irmãos, S.G.P.S., S.A de modo a identificar situações que concorram para aumentar o seu rendimento. Este contributo resulta num melhor aproveitamento da matéria-prima, que se perde durante o processo, na melhoria das diferentes fases do processo (trituração, peneiração e escolha por densidades) e na alteração de algumas ferramentas e/ou equipamentos. Estes fatores afetam diretamente o rendimento e, consequentemente, o lucro da empresa.

Toda a cortiça que não é utilizada para a produção de rolhas naturais é enviada para o armazém do setor da trituração. Esta passa por diversas fases de trituração (propriamente dita), peneiração, secagem e escolha por densidades. A trituração, como o próprio nome indica, consiste no corte dos diferentes tipos e fragmentos de cortiça de modo a diminuir as suas dimensões. A peneiração consiste na separação dos fragmentos de cortiça por dimensões. A secagem é utilizada de modo a controlar a humidade presente na cortiça. As mesas densimétricas têm como intuito a separação dos granulados por massa volúmica. Por fim, o granulado é ensacado ou armazenado em silos, consoante a sua massa volúmica e dimensão.

Inicialmente foi realizado um estudo bibliográfico relativo a determinados equipamentos presentes no processo. Após este estudo, foram analisados diversos fatores que poderiam influenciar significativamente a produção de granulados e os respetivos rendimentos. Feita esta análise, foram realizados diversos testes, de forma a tirarem-se conclusões sobre os problemas observados. Numa fase final, foram propostas possíveis melhorias que poderão contribuir para o aumento do rendimento do processo produtivo.

Abstract

The body of work presented herein, aims to carry out an analysis of the cork trituration process at Grupo Amorim & Irmãos, S.G.P.S., S.A with the goal of identifying situations which are prone to optimize production. This results in a smaller loss of raw materials, which tend to be wasted during the process; in the betterment of the different stages of production (trituration, sieving and densimetric separation); and in the modification of some tools and/or equipment. These factors directly influence yield and, by extension, the company's earnings.

All of the cork which does not get utilized in the manufacture of natural cork stopper is sent to the trituration warehouse. The former goes through several stages of trituration, sieving, drying and densimetric separation. Trituration, as the name itself implies, consists of cutting the different types and fragments of cork with the goal of reducing their dimensions. Sieving entails separating broken fragments according to their size. Drying is used to control the moisture present in the cork. Gravity tables are used with the goal of separating the granules by density. Finally, the granules are bagged or stored in silos, according to size and density.

Initially a literature review was carried out with regard to specific equipment used in the manufacturing process. After said review, some significant factors responsible by influencing the yield of granulated material production were analyzed. When analysis was complete, several tests were made in order for one to draw conclusions on the observed problems. On a final stage, a set of improvements which can contribute to augmenting production yield were proposed.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação.....	1
1.2	Contextualização do problema e objetivos.....	1
1.3	Estrutura da dissertação.....	2
2	Caso de estudo.....	3
2.1	Estrutura da empresa Corticeira Amorim, S.G.P.S., S.A.....	3
2.2	Introdução à cortiça.....	5
3	Caracterização do processo de trituração	7
3.1	Receção da matéria-prima.....	8
3.2	Primeira fase de trituração.....	11
3.3	Peneiro Vibratório.....	12
3.4	Segunda fase de trituração.....	15
3.4.1	<i>Broken</i> superior a 10 mm	15
3.4.2	<i>Broken</i> entre 1,5 e 10 mm	17
3.5	Processo de secagem do granulado	18
3.6	<i>Rotexes</i> 1 e 2.....	19
3.6.1	Eficiência do processo de separação	21
3.6.2	Componentes dos <i>rotexes</i>	22
3.6.3	Movimento dos <i>rotexes</i>	23
3.7	Mesas densimétricas.....	24
3.7.1	Variáveis que influenciam diretamente a eficácia da separação das partículas.....	25

3.8	Terceira fase de trituração (Moinho MIM)	29
3.9	Processo de embalagem dos granulados	29
3.10	Pontos de Controlo	30
3.10.1	Ponto de controlo da matéria-prima	30
3.10.2	Ponto de controlo do granulado.....	31
3.11	Reprocessamento.....	33
3.12	Cálculo do rendimento	34
4	Análise ao processo de trituração da cortiça.....	37
4.1	Tolva de alimentação dos <i>rotexes</i>	37
4.2	Análise às terras à saída do peneiro vibratório.....	38
4.2.1	Primeira fase de análise às terras.....	39
4.2.2	Segunda fase de análise às terras.....	40
4.2.3	Terceira fase de análise às terras	42
4.3	Análise às mesas densimétricas do granulado de 1 a 2 mm	44
4.4	Análise ao granulado de 1 a 2 mm com massas volúmicas entre 100 e 120 kg/m ³	46
4.5	Análise aos filtros de despoeiramento do granulado.....	49
4.6	Análise às redes dos <i>rotexes</i>	50
5	Sugestões de melhorias.....	55
5.1	Melhoria para a tolva de alimentação dos <i>rotexes</i>	55
5.1.1	Bifurcação das tubagens.....	55
5.1.2	Implementação de uma moega (tremonha)	56
5.2	Melhoria para o aproveitamento das terras à saída do peneiro vibratório.....	57
5.3	Eficiência das mesas densimétricas do granulado de 1 a 2 mm	59

5.4	Reaproveitamento de granulados nobres de 1 a 2 mm presentes no granulado com massas volúmicas entre 100 e 120 kg/m ³	60
5.5	Melhoria aos filtros de despoeiramento do granulado	61
5.6	Substituição das redes dos <i>rotexes</i>	63
6	Conclusões e trabalhos futuros	65
Anexos.....		71

Índice de Figuras

Figura 2.1: Diagrama da estrutura da Corticeira Amorim.....	3
Figura 3.1: Fluxograma do processo de trituração da cortiça	7
Figura 3.2: Rolha aglomerada	8
Figura 3.3: Cortiça com mancha amarela.....	8
Figura 3.4: Calços	9
Figura 3.5: Cortiça crua.....	9
Figura 3.6: Entrecasco.....	9
Figura 3.7: Cortiça Virgem	9
Figura 3.8: Matéria-prima para a produção de granulado de cortiça: 1 - Refugo; 2 - Barriga; 3 - Apara; 4 - Rolha Natural; 5 – Disco.....	10
Figura 3.9: Entrada da matéria-prima da fábrica, através da conduta, no armazém	11
Figura 3.10: Depósito da matéria-prima na plataforma	11
Figura 3.11: Entrada da matéria-prima no moinho	11
Figura 3.12: Moinho MDT	12
Figura 3.13: Crivo do moinho MDT	12
Figura 3.14: Esquema de um ciclone	13
Figura 3.15: Peneiro Vibratório	14
Figura 3.16: Balança do <i>Broken</i> e respetiva saída.....	15
Figura 3.17: Estrutura com os crivos	16
Figura 3.18: Rotor do moinho K800	16
Figura 3.19: Dimensão dos orifícios dos crivos do moinho K800: 1 - 14 mm; 2 - 12 mm.....	17

Figura 3.20: Dimensão dos orifícios dos crivos do moinho K600: 1 - 6 mm; 2 - 8 mm; 3 - 10 mm; 4 - 12 mm.....	17
Figura 3.21: Estrutura com os crivos	18
Figura 3.22: Secções da entrada de ar no secador.....	18
Figura 3.23: Entrada da 2ª secção do secador	18
Figura 3.24: Vista exterior do secador	19
Figura 3.25: (1) Partículas presas nas aberturas das malhas (2) Criação de pontes de partículas [Anexo I]	21
Figura 3.26: Exemplo de estrutura das malhas metálicas com as respetivas bolas saltitonas [7] ..	21
Figura 3.27: Componentes de um <i>rotex</i> da Tequimaq [Anexo II]	22
Figura 3.28: Estrutura que suporta as malhas metálicas de um <i>rotex</i> da Tequimaq [Anexo II].....	22
Figura 3.29: Movimento ao longo do <i>rotex</i>	23
Figura 3.30: Componentes de uma mesa densimétrica (Adaptado Ref [9]).....	24
Figura 3.31: Demonstração das inclinações da mesa densimétrica [8]	25
Figura 3.32: Trajetória de uma partícula leve numa mesa densimétrica.....	26
Figura 3.33: Apresentação das travessas presentes na mesa densimétrica.....	28
Figura 3.34: Densidades do granulado 1 a 2 mm: 1 - Baixa densidade; 2 - Média densidade; 3 - Alta densidade; 4 - Alta densidade com terras.....	28
Figura 3.35: Granulado 3 a 7 mm de alta densidade	28
Figura 3.36: Porta crivos do moinho MIM.....	29
Figura 3.37: Armazenamento do granulado em <i>Big Bag</i> 's	30
Figura 3.38: Régua de acrílico utilizada na análise de massa volúmica dos granulados	31
Figura 3.39: Agitador vibratório e peneiros usados para determinar a granulometria do granulado (Ref [10]).....	33

Figura 4.1: Esquema da tolva de alimentação dos rotexes.....	38
Figura 4.2: Amostra de granulado inferior a 1,5 mm à saída do peneiro vibratório	38
Figura 5.1: Bifurcação das tubagens de entrada na tolva de alimentação dos <i>rotexes</i>	55
Figura 5.2: Esquema da tolva de alimentação dos <i>rotexes</i> com a moega instalada	56
Figura 5.3: Mesa densimétrica das terras com uma plataforma composta por uma malha metálica	58
Figura 5.4: Demonstração do fluxo de ar na mesa densimétrica das terras com a implementação da plataforma	58
Figura 5.5: Esquema dos filtros de despoeiramento.....	62

Índice de Tabelas

Tabela 3.1: Seleção do equipamento de separação mais adequado [Anexo I]	19
Tabela 3.2: Especificações das massas volúmicas dos granulados	32
Tabela 4.1: Teste de granulometria das terras à saída do peneiro vibratório	39
Tabela 4.2: Teste de granulometria das terras à saída do peneiro vibratório, após serem separadas por densidade (primeira amostra de 600 gramas)	40
Tabela 4.3: Teste de granulometrias das terras à saída do peneiro vibratório, após serem separadas por densidade (segunda amostra de 600 gramas).....	41
Tabela 4.4: Quantidade de granulado e respectivas massas volúmicas corrigidas	41
Tabela 4.5: Massas volúmicas e humidades das respectivas classes de granulado retiradas durante o teste às terras	43
Tabela 4.6: Quantidades e lucros da 3ª fase de testes realizado às terras.....	43
Tabela 4.7: Massas volúmicas e humidades do granulado 1/2 obtidas durante a análise ao granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$	47
Tabela 4.8: Quantidade de granulado 1/2 obtida durante a análise ao granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$	47
Tabela 4.9: Quantidades e valores anuais para 2017 baseados no teste realizado ao granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ e à produção de granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ no ano 2017.....	48
Tabela 4.10: Quantidades e valores anuais para 2017 baseados no teste realizado ao granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ e à produção de granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ no ano 2016.....	49
Tabela 4.11: Teste ao filtro responsável pelo despoeiramento do granulado.....	50
Tabela 4.12: Granulometria do granulado nobre 3 a 7 mm antes e após a alteração das redes dos <i>rotexes</i>	52
Tabela 4.13: Rendimento dos granulados nobres antes e após a alteração das redes dos <i>rotexes</i> ..	52
Tabela 4.14: Caudais do consumo da matéria-prima e da produção dos granulados nobres e rendimentos antes e após a alteração das redes nos <i>rotexes</i>	53
Tabela 5.1: Quantidades produzidas de cada classe de granulado 1 a 2 mm no ano de 2016.....	61

Tabela 5.2: Comparação de caudais e rendimentos com a troca das redes e do mês de Julho.....	63
Tabela 6.1: Fatores analisados no processo de trituração	66

Glossário

AD 0,5/1 – Granulado de alta densidade e com dimensões entre 0,5 e 1 mm

AD 1/2 – Granulado de alta densidade e com dimensões entre 1 e 2 mm

ADT 0,5/1 – Granulado de alta densidade com terras e com dimensões entre 0,5 e 1 mm

ADT 1/2 – Granulado de alta densidade com terras e com dimensões entre 1 e 2 mm

AI – Amorim & Irmãos

BD 0,5/1 – Granulado de baixa densidade e com dimensões entre 0,5 e 1 mm

BD/MD – União do granulado BD 0,5 a 1 mm com o granulado MD 0,5 a 1 mm

Big Bag – Saco de grandes dimensões usado para o armazenamento e transporte de granulado

Broken – Fragmentos de cortiça que saem do primeiro moinho

F_c – Força centrípeta

H – Humidade

MD 0,5/1 – Granulado de média densidade e com dimensões entre 0,5 e 1 mm

m_G – Massa do grão

Moinho K600 – Moinho responsável pela trituração do *Broken* de cortiça com dimensões entre 1,5 e 10 (2ª fase de trituração)

Moinho K800 – Moinho responsável pela trituração do *Broken* de cortiça com dimensões entre 10 e 40 mm (2ª fase de trituração)

Moinho MDT – Moinho responsável pela primeira fase de trituração

Moinho MIM – Moinho responsável pela trituração do granulado que entra novamente no circuito, de forma a ser reaproveitado (3ª fase de trituração ou fase de remoagem)

MVA – Massa volúmica aparente

MVC – Massa volúmica corrigida

P_{Gran} – Peso do granulado

P_{M.P.} – Peso da matéria-prima de cortiça

P.C._{Gran} – Peso do granulado corrigido a 8 % de humidade

P.C._{M.P.} – Peso da matéria-prima de cortiça corrigido a 14 % de humidade

r – Raio do ciclone

RA – Uma das classes de granulado com dimensões entre 2 e 3 mm, usado para a produção de rolhas aglomeradas

RCT – Uma das classes de granulado com dimensões entre 3 e 7 mm, usado para a produção de rolhas aglomeradas para as garrafas de champanhe e de vinho

Rendimento_{Gran} – Rendimento de uma determinada classe de granulados

RN – Uma das classes de granulado com dimensões entre 1 e 2 mm, usado para a produção de rolhas microgranuladas

TCA – Tricloroanisole – Fungo que se encontra na rolha de cortiça responsável pelo odor desagradável do vinho, contudo, não é prejudicial à saúde do consumidor

UI – Unidade Industrial

v_t – Velocidade tangencial

1

Introdução

1.1 Motivação

Como é de esperar numa empresa como o Grupo Amorim, toda a cortiça desperdiçada durante o processo da trituração tem um impacto negativo a nível financeiro. A diminuição dos desperdícios contribui para um aumento do rendimento do processo e, consequentemente, um aumento no desempenho económico da empresa.

Foi realizado um estágio em paralelo com esta dissertação de modo a compreender que possíveis melhorias poderiam ser aplicadas. Aumentando o rendimento e mantendo a qualidade do produto, o Grupo Amorim, conseguirá produzir uma maior quantidade de produtos derivados de granulados de cortiça e, assim, satisfazer um maior número de clientes e reforçar a sua posição dominante neste setor.

Face a este objetivo, foi com enorme motivação que este projeto foi abordado. A concretização deste projeto trará benefícios para a empresa (aumento de rendimento) e para o autor (conhecimento aprofundado deste setor industrial).

1.2 Contextualização do problema e objetivos

Este trabalho surge na sequência de um estágio na trituração da Unidade Industrial De Sousa (DS) da empresa Amorim & Irmãos. Nesta unidade industrial, o processo de trituração da cortiça tem sido cada vez mais exigente devido ao elevado custo da matéria-prima. Contudo, o rendimento deste processo tem decrescido, pela ausência de matérias-primas nobres. A matéria-prima cortiça é um bem limitado e escasso, obrigando a obter rendimentos superiores para fazer face às necessidades de granulados finos.

Assim, esta dissertação tem como objetivo, o aumento de rendimento das máquinas de trituração. Para tal serão analisados os principais fatores que influenciam o rendimento por forma a identificar possíveis ações de melhoria. Inicialmente foi feita uma fase de aprendizagem do processo e numa segunda fase, foram propostas ideias e monitorizados os seus resultados.

1.3 Estrutura da dissertação

Este documento encontra-se repartido em 6 capítulos de forma estruturada e ordenada, com o intuito de facilitar a leitura e a compreensão.

- No capítulo 1 são expostos a motivação deste trabalho, os seus objetivos e respetiva estrutura.
- No capítulo 2 é explicada toda a estrutura da empresa onde se estudou o problema e realizada uma introdução à cortiça como matéria prima.
- No capítulo 3 é descrito todo o processo da trituração desde a chegada da matéria-prima de cortiça ao ensacamento dos diferentes tipos de granulados. Neste capítulo, também, é explicado como é realizado o controlo de qualidade e calculado o rendimento.
- No capítulo 4 encontram-se explicados todos os fatores analisados durante o estágio que influenciam o rendimento do processo. Neste capítulo também são mencionados os testes realizados e as conclusões obtidas.
- No capítulo 5 são apresentadas as possíveis soluções, de forma a melhorar os problemas encontrados durante a análise ao processo.
- No capítulo 6 encontram-se descritas as dificuldades encontradas durante a análise ao processo, um resumo das possíveis melhorias mais significativas para o processo e testes/trabalhos que deveriam ser executados no futuro.

2.1 Estrutura da empresa Corticeira Amorim, S.G.P.S., S.A

A Corticeira Amorim, S.G.P.S., S.A é a maior empresa mundial de produtos de cortiça, sendo líder do mercado há 146 anos. Através da Figura 2.1 é possível notar que a Corticeira Amorim está dividida em 5 unidades de negócios (UN). A Amorim Florestal é a responsável pelo fornecimento de matéria-prima (de cortiça) para as restantes unidades de negócios. A Amorim & Irmãos é a unidade de negócios responsável pela produção dos diversos tipos de rolhas. A Amorim Revestimentos é outra UN da Corticeira Amorim cujo principal negócio é a produção de pavimentos. A Amorim Cork Composites é responsável pela criação de compósitos de cortiça, fabricando nomeadamente materiais de proteção cruciais para as naves espaciais da NASA, ESA, etc. Por fim, a Amorim Isolamentos dedica-se à produção de aglomerados de isolamento térmico e acústico.

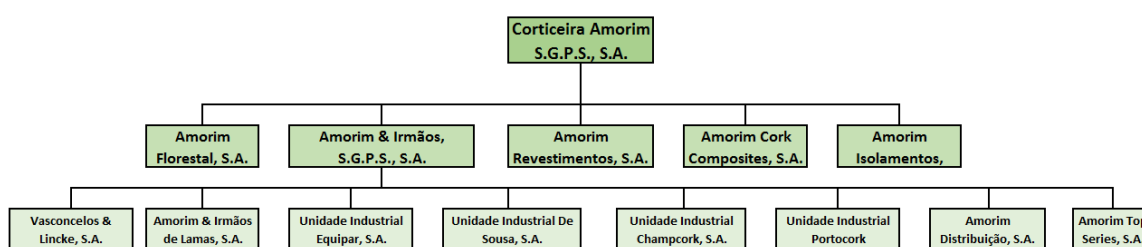


Figura 2.1: Diagrama da estrutura da Corticeira Amorim

Na figura representada anteriormente, estão apenas mencionadas as unidades industriais da Amorim & Irmãos (AI), por ser a unidade de negócios mais relevante para este trabalho. A AI de Lamas é a unidade industrial (UI) responsável pela produção de rolhas naturais. Após receberem as pranchas¹ da Amorim Florestal, estas são cortadas em tiras e são furadas, através de uma broca, originando as rolhas naturais em bruto. A Equipar produz rolhas aglomeradas (explicação no subcapítulo 3.1) e granulado de cortiça. A UI De Sousa produz rolhas microgranuladas e granulado de cortiça. Foi na trituração da unidade industrial De Sousa que decorreu o projeto que originou esta dissertação. A Champcork é responsável pela produção de rolhas aglomeradas para champagne. A Portocork e a Vasconcelos e Lincke são unidades industriais que não produzem rolhas e, portanto, recebem rolhas das restantes unidades. Nestas unidades industriais são realizadas

¹ “Casca” do sobreiro

algumas lavagens e marcações, necessárias, para as rolhas. E na Portocork são executados os controlos mais rígidos, principalmente de TCA². A Amorim Distribuição é responsável pela marcação e venda das rolhas provenientes, principalmente, das unidades industriais De Sousa, Amorim & Irmãos de Lamas e Equipar. A Top Series, é a principal responsável por encomendas de menores dimensões, mas com variados tipos de calibres, ou seja, é responsável por encomendas especiais. Nessa UI também são fabricadas rolhas com cápsulas de diferentes tipos de materiais. Existem determinadas cápsulas que são fabricadas na própria unidade industrial, enquanto que outras são encomendadas.

A Unidade Industrial De Sousa é responsável por uma das triturações do grupo Amorim & Irmãos, S.G.P.S., S.A e pela produção de rolhas microgranuladas com granulados entre 1 e 2 mm. Esta unidade industrial encontra-se dividida em 8 setores:

- Trituração: Recebe a matéria-prima de cortiça em bruto e transforma-a em granulado. É responsável por esta transformação e por garantir que os granulados se encontram dentro das especificações da empresa.
- Moldação: Recebe o granulado de 1 a 2 mm, com baixas e médias massas volúmicas, da trituração. É realizado um tratamento de forma a retirar o TCA existente e a garantir as humidades necessárias para a produção de rolhas. Neste setor é realizada a mistura do granulado com a cola e, por fim, depositada em moldes, de modo a produzir-se o corpo inicial da rolha.
- Retificação: Este setor recebe as rolhas provenientes da moldação e retifica-as ao longo do seu comprimento e diâmetro.
- Lavação: Este setor é responsável pela lavagem e secagem das rolhas que recebem do setor da retificação.
- Escolha: Neste setor são analisadas todas as rolhas produzidas na UI De Sousa, de forma a garantir a qualidade do produto. As rolhas com defeitos são desviadas e separadas das rolhas que se encontram dentro das especificações.
- Embalagem: Após a escolha das rolhas, estas são embaladas em contentores, sacos ou caixas, dependendo das exigências dos clientes.
- Armazenamento/Expedição: Todas as embalagens de rolhas são armazenadas num armazém e, por fim, são enviadas para o cliente. Neste setor também são expedidos os granulados ensacados que não são utilizados por esta unidade industrial. Caso haja necessidade, este tem a capacidade de receber granulado de outras triturações de cortiça, com o intuito de produzir as rolhas fabricadas nesta UI.

² Composto químico encontrado na natureza, que embora não seja prejudicial à saúde, altera o sabor do vinho.

- Controlo da qualidade: Em todos os setores referidos anteriormente, existem postos de controlo de qualidade, de modo a impedir que sejam enviados produtos com defeito para o setor seguinte. Também, existe um laboratório que analisa com maior precisão uma parte das produções e matérias-primas de cada setor.

2.2 Introdução à cortiça

“A cortiça é a casca do sobreiro (*Quercus Suber L.*), sendo assim, um tecido vegetal 100% natural. É formada por uma colmeia de células microscópicas preenchidas com um gás semelhante ao ar e revestidas maioritariamente por suberina e lenhina” [1]. As maiores áreas de montados de sobreiros são presenciadas principalmente em países mediterrânicos, como Portugal (32%)³, Espanha (27%)³, Argélia (17%)³ e Marrocos (14%)³ [2].

Cada sobreiro demora 25 anos até poder ser descortiçado, sendo as duas primeiras extrações somente dedicadas para matéria-prima usada em isolamentos, construção e produção de energia, entre outros. Só ao fim do terceiro descortiçamento é que é possível utilizar a cortiça para produzir rolhas naturais. Geralmente, esta operação é realizada entre maio e agosto, quando a árvore se encontra na fase mais ativa de crescimento e se torna mais fácil o seu descortiçamento, sem ferir o tronco. A casca do sobreiro é bastante conhecida pela sua capacidade de autorregeneração, demorando cerca de 9 anos a autorregenerar-se de forma a constituir todos os requisitos necessários para a produção de novas rolhas [1].

As principais características são a sua baixa densidade, as suas capacidades de elasticidade e compressibilidade, de isolamento e de combustão, a impermeabilidade e a resistência ao atrito, entre outras [3]. A baixa densidade da cortiça deve-se à existência de ar que ocupa cerca de 50% do seu volume, tornando-a um material bastante leve e com capacidade de flutuar. No caso da cortiça natural a densidade varia entre 160 e 260 kg/m³, a cortiça granulada entre 55 e 160 kg/m³, a cortiça aglomerada entre 140 e 600 kg/m³ e a cortiça com borracha entre 450 e 1200 kg/m³ [4]. A cortiça é um material natural com um baixo coeficiente de Poisson (aproximadamente igual a 0,18 [5]). Tem uma elevada “memória elástica”, pois consegue ser comprimida até metade da sua largura e regressa à sua forma original, quando descomprimida. “Graças à suberina e aos ceróides presentes nas paredes das células, a cortiça é impermeável a líquidos e a gases. A sua resistência à humidade permite-lhe envelhecer sem se deteriorar” [3]. Tem uma excelente capacidade de isolamento térmico e acústico, devido à sua baixa condutividade térmica, de som e de vibração.

³ Percentagem da área florestal de sobreiros num país em relação à área florestal de sobreiros no planeta Terra.

Como as suas células são formadas por almofadas gasosas microscópicas, esta consegue absorver os choques o que a torna bastante apropriada para uso no calçado.

Devido a todas as capacidades referidas anteriormente, é possível notar que a cortiça é um material com excelentes propriedades químicas, físicas e mecânicas, aumentando a sua aplicabilidade nos dias de hoje. Alguns dos exemplos da sua aplicação, são a produção de rolhas naturais, rolhas compostas pelo seu granulado, isolamentos, revestimentos, produção de energia e calçado.

Caracterização do processo de trituração

O processo de trituração da cortiça tem como principal objetivo a transformação dos diferentes tipos de cortiça em granulado de cortiça. Neste capítulo serão descritas todas as fases do processo, desde a chegada da matéria-prima ao armazenamento dos granulados. Através do fluxograma apresentado na Figura 3.1, é possível compreender melhor todo o processo. Cada numeração encontrada no fluxograma corresponde à numeração de cada subcapítulo.

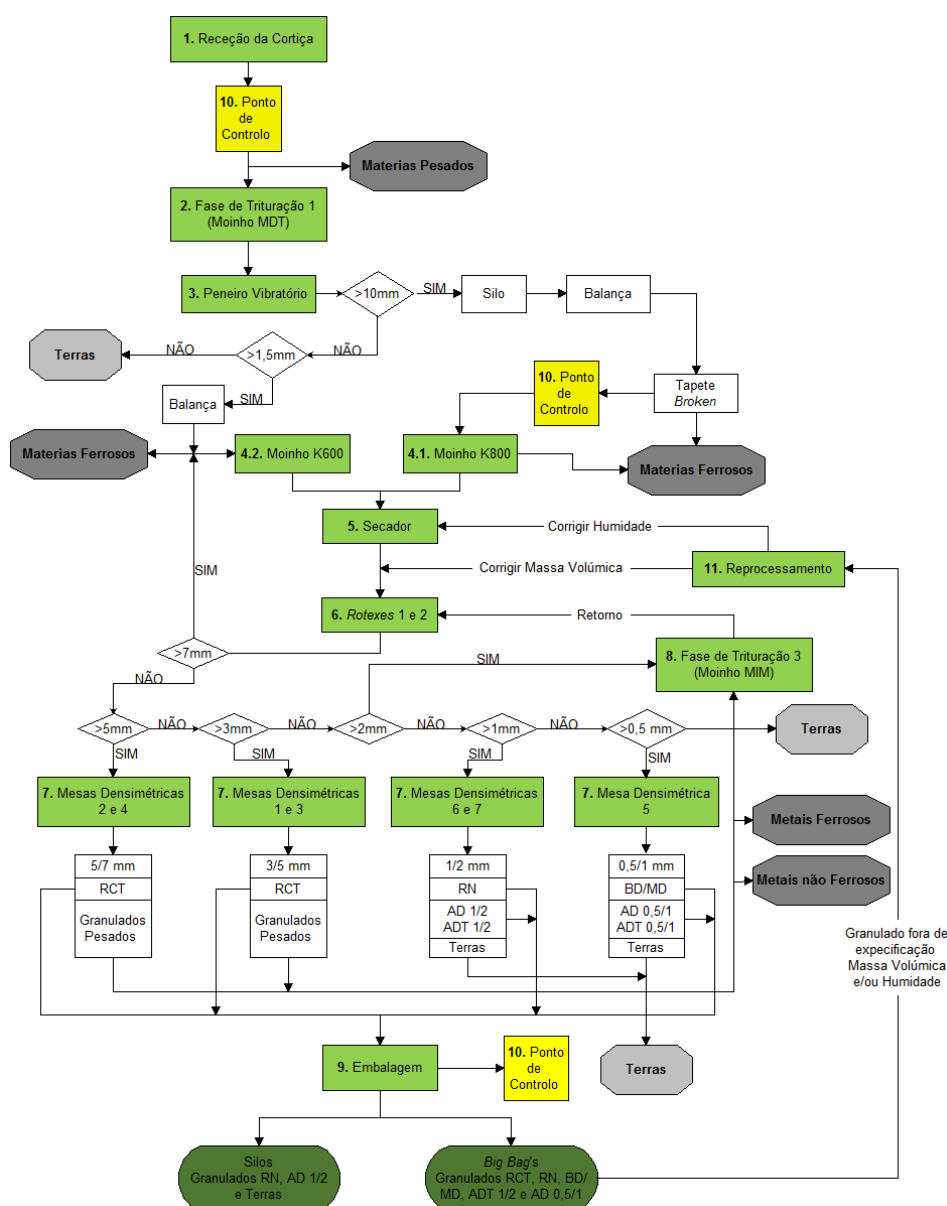


Figura 3.1: Fluxograma do processo de trituração da cortiça

3.1 Receção da matéria-prima

Devido à enorme necessidade de produção de granulado de cortiça, a Amorim & Irmãos compra cortiça a fornecedores internos e externos, pagando um determinado valor por quilograma. Inicialmente, toda esta cortiça é pesada e verificada. Não poderão ser triturados os seguintes tipos de matéria-prima:

- Rolha Branca (*Washed Cork*): Rolha que sofreu variadas lavações para ficar com uma cor mais esbranquiçada;
- Rolha Aglomerada (*Agglomerated Cork*): Rolha composta por granulado de cortiça e cola (Figura 3.2);
- Cortiça Queimada (*Burnt Cork*): Pode ser cortiça toda queimada ou com apenas uma parte queimada;
- Cortiça com Mancha Amarela (*Yellow Stain*): É possível notar uma mancha amarela na parte da casca (Figura 3.3), que se deve à contaminação da cortiça. Por norma, esta vem acompanhada com uma maior quantidade de TCA;
- Calços da cortiça (*Wedges*): Partes formadas na base do tronco, que se encontram em contacto com o solo, originando um aumento do TCA (Figura 3.4);
- Cortiça crua (*Unboiled Cork*): Cortiça que não foi previamente cozida, logo não existem condições necessárias para originar um granulado de qualidade (Figura 3.5);
- Entrecasco (*Inner Bark*): Parte entre o tronco do sobreiro e a barriga da cortiça. Já é considerado madeira e, conseqüentemente, não tem as mesmas propriedades da cortiça (Figura 3.6);
- Cortiça Virgem (*Cork Virgen*): Cortiça proveniente do primeiro e segundo descortiçamento ou dos ramos do sobreiro, que não têm qualidade suficiente para a produção de rolhas e granulado (Figura 3.7).



Figura 3.2: Rolha aglomerada



Figura 3.3: Cortiça com mancha amarela



Figura 3.4: Calços



Figura 3.5: Cortiça crua



Figura 3.6: Entrecasco



Figura 3.7: Cortiça Virgem

A cortiça para triturar é armazenada num armazém e é dividida em três grupos (matéria-prima para produzir granulado) compostos por:

1. Refugos: “Prancha” do sobreiro composta pela costa, núcleo e barriga, que não tem espessura e/ou qualidade suficiente para a produção de rolhas naturais (Figura 3.8.1). O núcleo é a parte utilizada para produzir rolhas naturais e é a única parte de grande qualidade para a produção de granulado de cortiça. A barriga também pode ser utilizada para a produção de granulado, mas a qualidade não será tão boa. E a costa, é a parte escura da prancha, que não é utilizada para a produção de rolhas aglomeradas, embora possa ser usada para outro tipo de funções.
2. Barrigas: Parte da prancha que se encontra mais próxima do tronco do sobreiro (Figura 3.8.2).

3. Aparas da brocagem (ou broca): As rolhas naturais são brocadas a partir das tiras da cortiça (ou rabanadas). A parte que sobra desta brocagem, é aproveitada para a produção de granulado (Figura 3.8.3).
4. Rolhas naturais (especial): Por vezes, existem rolhas naturais com defeitos e que podem ser utilizadas para produzir granulado (Figura 3.8.4). Estas são enviadas para esta unidade industrial e trituradas.
5. Discos (especial): São semelhantes às rolhas naturais (forma cilíndrica), mas com alturas bastante inferiores (Figura 3.8.5). São usados, principalmente, para fazer as rolhas de champanhe, juntamente com granulado de cortiça. São essenciais para manter a maior pressão própria do champanhe.
6. Triturado: É basicamente a broca, mas partida em bocados pequenos. Esta matéria-prima apenas vem da unidade industrial Amorim & Irmãos de Lamas.

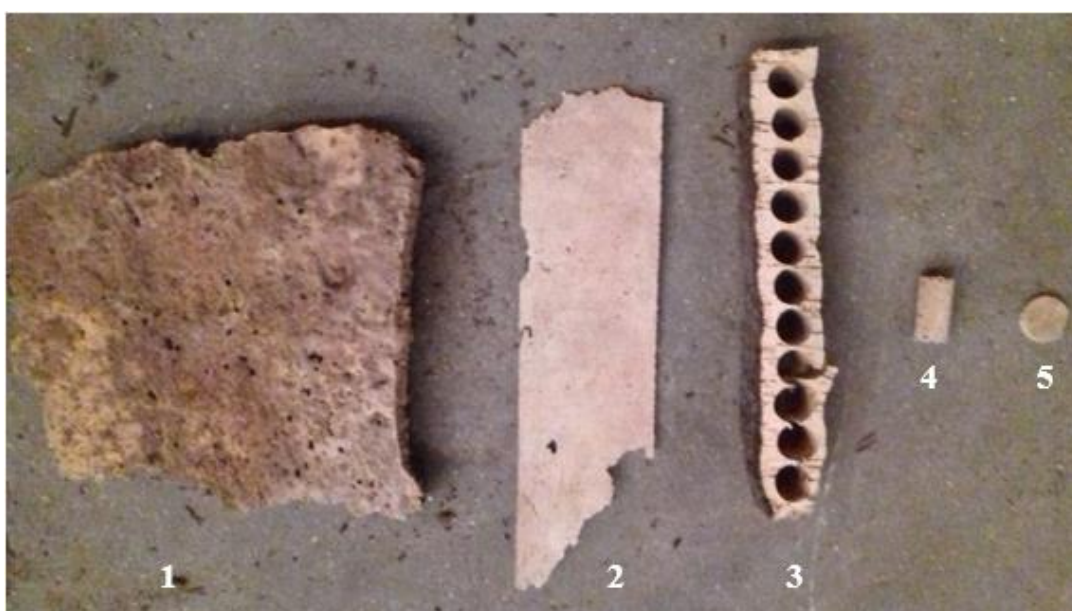


Figura 3.8: Matéria-prima para a produção de granulado de cortiça: 1 - Refugo; 2 - Barriga; 3 - Aparas; 4 - Rolha Natural; 5 - Disco

O primeiro grupo é apenas composto por triturado, o segundo é composto por broca e o terceiro é uma mistura dos restantes tipos de matéria-prima.

A matéria-prima pode ser recebida através de camiões, de fornecedores externos à empresa ou através de uma conduta que envia toda a cortiça, da unidade industrial AI de Lamas que se encontra no mesmo local que a UI De Sousa. Através da Figura 3.9 é possível observar a saída desta conduta e uma parte dos montes de matéria-prima do armazém.



Figura 3.9: Entrada da matéria-prima da fábrica, através da conduta, no armazém

3.2 Primeira fase de trituração

Após a receção da matéria-prima, através de uma retroescavadora esta é depositada numa plataforma vibratória que a transportará ao primeiro moinho (moinho MDT), de forma a controlar a quantidade a ser triturada. Através das seguintes imagens é possível observar o depósito da matéria-prima na plataforma (Figura 3.10) e a entrada da matéria-prima no moinho (Figura 3.11).



Figura 3.10: Depósito da matéria-prima na plataforma



Figura 3.11: Entrada da matéria-prima no moinho

Este moinho é composto por um rotor com facas, uma placa com contra-facas e um crivo que trituram a matéria-prima, originando um *Broken*⁴ com dimensões de 40 mm, no máximo. Na Figura 3.12 é possível visualizar este processo. Embora nesta figura não apareça o crivo, este encontra-se por baixo do rotor. O crivo mencionado é possível observar na Figura 3.13.

⁴ Fragmentos de cortiça que saem do primeiro moinho.

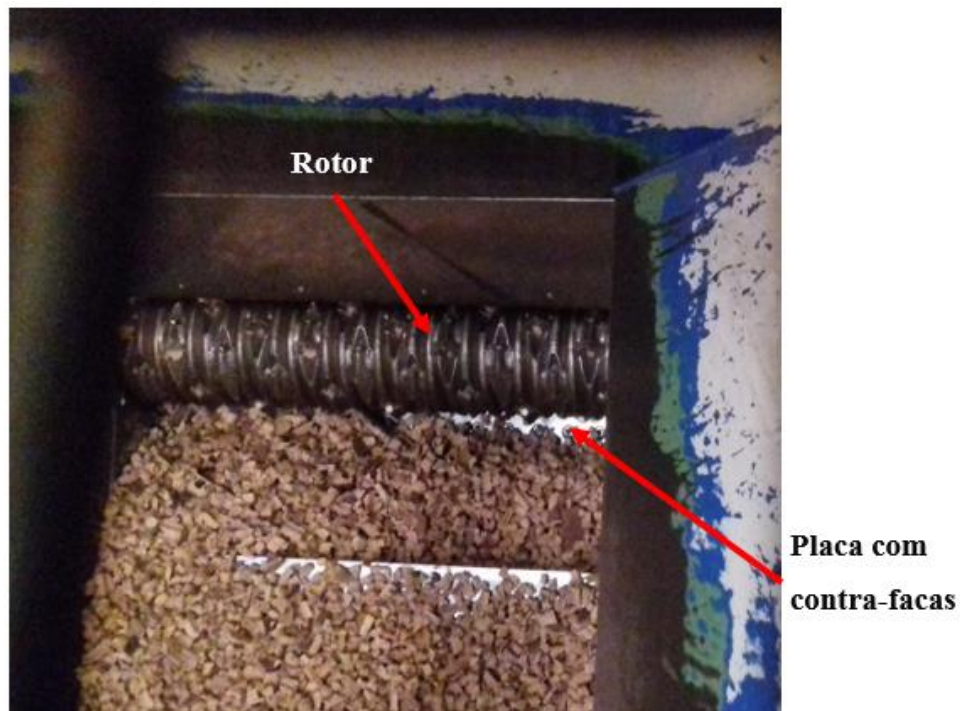


Figura 3.12: Moinho MDT



Figura 3.13: Crivo do moinho MDT

3.3 Peneiro Vibratório

Após a saída do moinho, o granulado é transportado por tubos, através de um sistema pneumático. Passa por um sistema que retira materiais pesados do granulado e um íman, onde são retiradas algumas pedras e metais. Após esta triagem, o granulado é conduzido para um ciclone.

Um ciclone é uma estrutura com a funcionalidade de separar partículas que tenham grandes diferenças de densidade, isto é, separar as partículas muito leves das muito pesadas. O fluxo de ar dentro do ciclone consiste na formação de dois vórtices, estando um no interior e outro junto às paredes do ciclone. Enquanto o vórtice que se encontra junto às paredes tem um sentido descendente, o outro tem um sentido ascendente (vórtice criado por uma aspiração que se encontra no interior do ciclone). Como as partículas que se encontram misturadas com o pó, têm uma inércia maior e, conseqüentemente, uma força centrífuga maior do que o pó, estas mantêm-se encostadas às paredes do ciclone, enquanto que o pó é levado pelo vórtice ascendente [6].

Como a velocidade tangencial das partículas vai diminuindo ao longo do ciclone, este tem de ter uma forma cônica, com o intuito de manter a força centrípeta. Na fórmula descrita em baixo consegue-se compreender que diminuindo o raio da trajetória das partículas, a força centrípeta aumenta. Para evitar que haja uma queda muito grande na força centrípeta, diminui-se o raio de forma a atenuar esta descida. Através da Figura 3.14 é possível compreender melhor este conceito. Embora não seja possível notar, na secção de saída do pó existe um sistema de aspiração, tal como tinha sido referido anteriormente.

$$F_C = m_G \times \frac{v_t^2}{r} \quad (3.1)$$

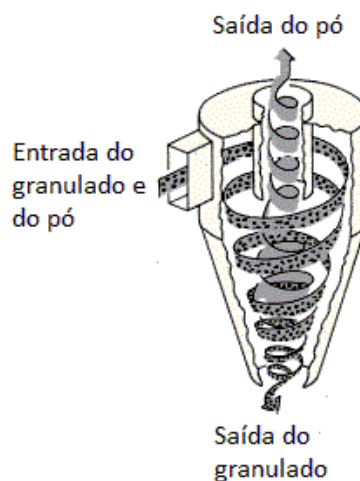


Figura 3.14: Esquema de um ciclone

Por gravitação, o granulado irá cair num peneiro vibratório composto por duas redes, sendo uma que só deixa passar granulado com dimensões inferiores a 10 mm e a segunda só deixa passar granulado inferior a 1,5 mm.

Este tipo de processo de separação de partículas consiste na sua separação por tamanho ou granulometria. Quando é transmitido um movimento a uma estrutura com uma malha metálica, as partículas inferiores a essas aberturas da malha passam por esta, enquanto que as com dimensões

superiores são retidas e permanecem nesta estrutura. Neste caso, a separação é realizada por vibração, pois não existe a necessidade de uma elevada precisão.

O peneiro vibratório é composto por um conjunto de malhas metálicas (suportadas por umas estruturas em madeira) inclinadas e um sistema de vibração aplicado nas redes. Este movimento de vibração é caracterizado por ser de baixa amplitude e de elevadas frequências. O peneiro tem como objetivo separar os materiais com diferentes granulometrias, ou seja, separar os materiais com dimensões e volumes diferentes.

O material ao entrar no peneiro cai sobre a primeira rede e através da vibração este é espalhado. O material que tiver dimensões inferiores aos furos da malha cai por gravidade para a malha seguinte. Como estas malhas metálicas estão inclinadas, através da gravidade, o material vai rolando até chegar à saída do peneiro. Na saída existe uma moega que conduz o material para uma tubagem com aspiração, levando-o assim para o destino pretendido. Através da Figura 3.15 é possível observar o peneiro vibratório referido.



Figura 3.15: Peneiro Vibratório

Toda a cortiça que sai do primeiro moinho e é inferior a 1,5 mm, é conduzida, através de tubagens para o silo das terras. Toda esta cortiça é considerada terras e, por isso, não é vendida. No subcapítulo 3.9 é explicado o que acontece à cortiça que vai para o silo das terras.

3.4 Segunda fase de trituração

3.4.1 *Broken* superior a 10 mm

O granulado com dimensão superior a 10 mm é armazenado num silo, durante um determinado tempo para garantir um stock de segurança. Se houver falta de matéria-prima, este stock consegue garantir que a trituração não pare durante as duas horas seguintes. Após a sua saída do silo, o granulado é transportado por um parafuso sem-fim até uma balança com uma comporta na secção inferior. Após uma pesagem de 40 kg esta comporta abre-se (controlo do caudal), e o granulado cai para uma passadeira transportadora que o leva até um moinho (moinho K800). Através da Figura 3.16 é possível ter uma maior perceção desta operação.



Figura 3.16: Balança do *Broken* e respetiva saída

O moinho K800 é composto por um rotor com facas e um crivo. O crivo é fixo a uma estrutura, com umas pequenas saliências na altura central, que ajudam as facas a cortar o granulado, tal como é possível observar na Figura 3.17. Através da Figura 3.18 é possível observar as facas no rotor do moinho.

Como as necessidades do mercado não são sempre as mesmas, existem diversos tipos de crivos, que determinam as dimensões do granulado exigido pelos clientes. Na Figura 3.19 é possível observar dois tipos de crivos usados para o moinho K800.

Após esta fase de trituração, o granulado é transportado através de um sistema pneumático para um ciclone, que tem como saída (através de um parafuso sem-fim) a tolva de alimentação⁵ do secador.

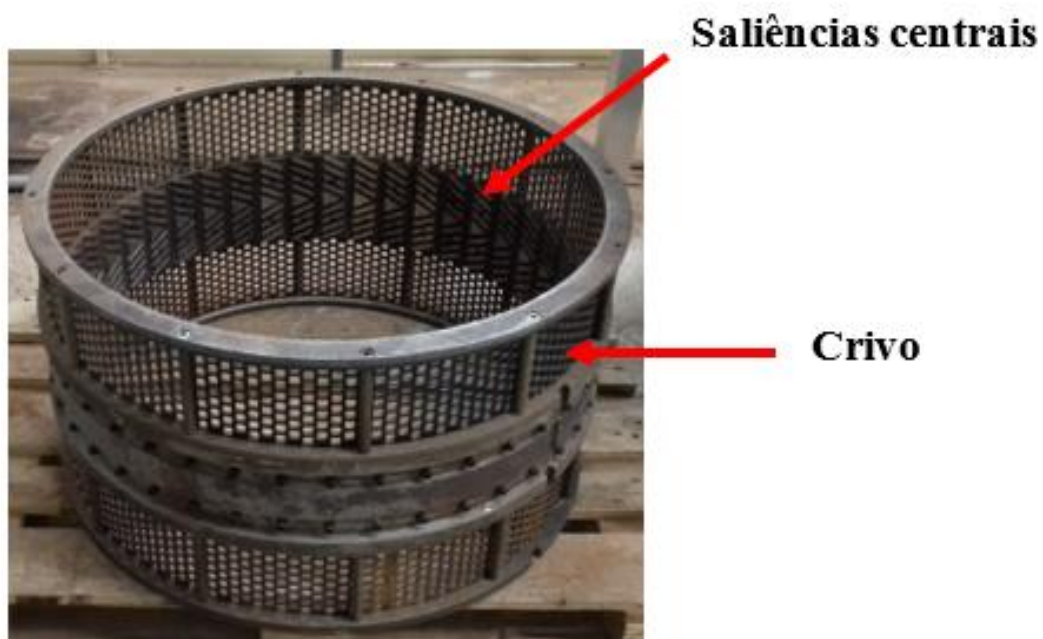


Figura 3.17: Estrutura com os crivos



Figura 3.18: Rotor do moinho K800

⁵ A definição deste conceito será explicada no subcapítulo 3.4.2

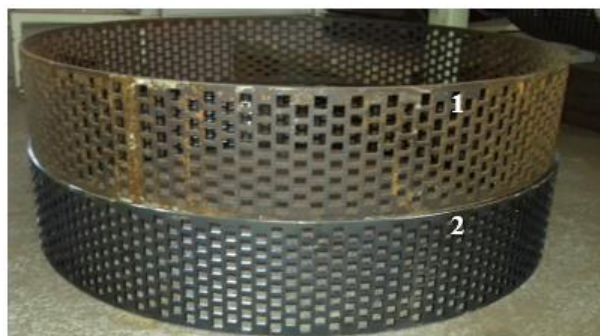


Figura 3.19: Dimensão dos orifícios dos crivos do moinho K800: 1- 14 mm; 2- 12 mm

3.4.2 *Broken* entre 1,5 e 10 mm

O granulado entre 1,5 e 10 mm, ao sair do peneiro vibratório, irá para uma balança que pesa, de cada vez, 1.5 kg, de forma a controlar a quantidade enviada para a tolva de alimentação. A tolva de alimentação é usada para manter constante a entrada de caudal de granulado no moinho (moinho K600). O princípio de funcionamento deste moinho é bastante semelhante ao moinho K800, embora este não tenha as referidas saliências na zona central. Neste moinho, não existem saliências porque como o granulado não tem dimensões tão elevadas, as facas conseguem cortar o granulado com maior facilidade. Como foi referido no subcapítulo 3.4.1, devido às necessidades do mercado, este moinho também tem crivos com diferentes dimensões de orifícios. Na Figura 3.20 é possível observar as diferentes dimensões dos orifícios. E na Figura 3.21 é possível observar a estrutura de fixação dos crivos.

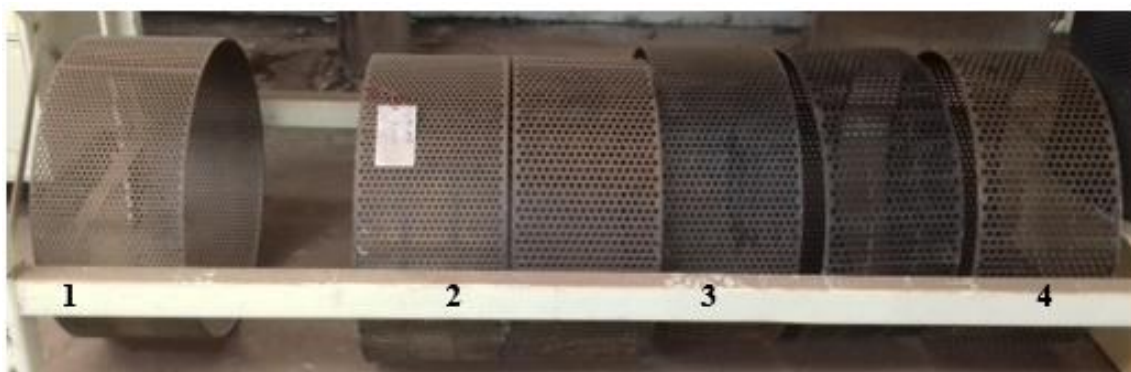


Figura 3.20: Dimensão dos orifícios dos crivos do moinho K600: 1- 6 mm; 2- 8 mm; 3- 10 mm; 4- 12 mm

Após a trituração, o granulado é transportado pneumaticamente para um ciclone, que tem como saída (através de uma rosca sem-fim) a tolva de alimentação do secador.



Figura 3.21: Estrutura com os crivos

3.5 Processo de secagem do granulado

Como foi possível concluir pelo final dos subcapítulos 3.4.1 e 3.4.2, ambos os granulados serão misturados na tolva de alimentação do secador e entrarão em conjunto no secador. O ar que entra no secador deve ser quente e seco de forma a retirar o excesso de humidade do granulado. A entrada de ar passa por três permutadores de calor (tal como é possível observar na Figura 3.22), que são:

- A secção onde lhe é transmitido vapor quente. Assim, consegue aquecer e secar o ar, que, contudo, pode não ser suficiente;
- Na segunda secção, este passa entre um conjunto de alhetas e um termofluído que o ajuda a aquecer e a secar ainda mais (Figura 3.23);
- Se os níveis de humidade e temperatura do ar ainda não forem suficientes, é ativada uma chama na câmara que ajuda a secar o ar e a elevar a sua temperatura.



Figura 3.22: Secções da entrada de ar no secador



Figura 3.23: Entrada da 2ª secção do secador

Após todo este processo de secagem do ar, este entra dentro de um cilindro, com elevadas dimensões, que roda em torno do seu eixo. Esta rotação ajuda a misturar o granulado, de forma a permitir que todo seja secado e aquecido. Através da Figura 3.24, é possível observar o secador visto exteriormente.



Figura 3.24: Vista exterior do secador

3.6 Rotexes 1 e 2

Depois de seco o granulado é transportado para uma tolva que irá alimentar os rotexes. O granulado é então dividido por dois *rotexes*. Estes equipamentos encontram-se dentro da categoria de separação de partículas por tamanho ou granulometria. Quando é transmitido um movimento giratório/vibratório a uma estrutura com uma malha metálica, as partículas inferiores a essas aberturas da malha passam por esta, enquanto que as com dimensões superiores são retidas e permanecem nesta estrutura. Para este caso são utilizados equipamentos com um movimento giratório, pois têm amplitudes maiores e velocidades mais baixas, aumentando assim a precisão da separação. A empresa Rotex (uma das empresas com mais dimensão neste segmento de mercado) apresenta uma tabela que mostra o tipo de equipamento que deve ser utilizado tendo em conta as necessidades do cliente. Existe uma elevada exigência na boa separação dos granulados com dimensões de 0,5 mm a 8 mm e através da seguinte tabela é possível compreender a razão pela qual são utilizados equipamentos retangulares horizontais giratórios.

Tabela 3.1: Seleção do equipamento de separação mais adequado [Anexo I]

TABLE 3. SCREENING MACHINE SELECTION GUIDE							
Screen motion			Vibratory	Vibratory	Vibratory	Gyratory	Gyratory
Screen shape			Round	Rectangular	Rectangular	Round	Rectangular
Screen slope			Horizontal	Inclined	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Applicability	Coarse (> 5mm)	Scalping	fair	good	good	good	good
		Grading	poor	fair	good	fair	good
		Fines removal	poor	fair	fair	fair	good
	Medium (0.5-5 mm)	Scalping	good	fair	good	good	good
		Grading	fair	poor	fair	fair	good
		Fines removal	poor	poor	fair	good	good
	Fine (< 0.5 mm)	Scalping	fair	poor	fair	good	good
		Grading	poor	poor	poor	fair	good
		Fines removal	poor	poor	poor	fair	good
Screening accuracy			low - med	low	medium	med - high	high
Screening capacity			low	high	medium	medium	high
Relative cost			low	medium	medium	high	high

A *performance* deste tipo de separação depende de diversos fatores diretamente ligados ao tipo de material que entra nestes equipamentos, tais como: a distribuição do tamanho das partículas [Ponto 1], a forma das partículas [Ponto 2], a densidade aparente das partículas [Ponto 3], a fluidez das partículas [Ponto 4], a fragilidade das partículas [Ponto 5] e a humidade superficial [Ponto 6].

1. A distribuição do tamanho das partículas é um fator crucial que apenas consegue ser avaliado através de uma amostragem. Por exemplo, se houver um caudal de entrada de 1500 kg/h em que 70% do material tem granulometrias entre 3 e 7 mm e forem escolhidas malhas metálicas com aberturas de 7 mm e de 3 mm, essa secção entre as malhas pode ficar demasiado cheia. Ao estar demasiado preenchida pode causar entupimentos ou impedir que as partículas inferiores a 3 mm passem pela malha. Isto origina uma mistura não desejada e consequentemente uma má precisão da separação das partículas.
2. As partículas podem ter uma forma granular, esférica ou cilíndrica, entre outras. Se tiver uma forma granular ou esférica a separação é realizada com bastante exatidão, mas se tiver uma forma cilíndrica ou alongada pode dificultar a exatidão. Se houverem partículas com dimensões 2x2x8 mm, estas podem passar numa malha com aberturas de 3x3 mm, contudo o seu comprimento tem 8 mm. Isto significa que a separação não foi realizada com eficácia e irá originar uma amostra que contém partículas com dimensões indesejadas.
3. Como a força da gravidade é a força que causa a queda das partículas para a malha seguinte, logo a força gravítica não é a mesma em todas as partículas. Se houver um fluxo suficientemente grande e houverem partículas de baixa densidade, mas com dimensões inferiores às das aberturas da malha, estas podem ser arrastadas por outras partículas que tenham dimensões superiores. Isto porque a força gravítica é tão baixa que pode não ser suficiente para originar a sua queda.
4. Se o material não tiver uma boa fluidez, este não se consegue distribuir razoavelmente bem pela malha e pode tapar as aberturas presentes, o que impossibilita a passagem das partículas para a malha seguinte.
5. Se as partículas forem demasiado frágeis, devido ao movimento giratório do equipamento estas podem-se quebrar e originar partículas com dimensões inferiores. Ou seja, a separação é realizada, contudo as dimensões das partículas à entrada do equipamento não são iguais à saída.
6. Uma elevada percentagem de humidade presente nas partículas dificulta o processo de separação devido a dois fatores. Com o excesso de humidade as partículas podem ficar agarradas à rede. Com elevada quantidade de humidade e o movimento do equipamento podem ocorrer aglomerações entre as partículas.

Como foi referido anteriormente, podem ocorrer aglomerações, criações de “pontes” e partículas presas nas aberturas das malhas metálicas (Figura 3.25).

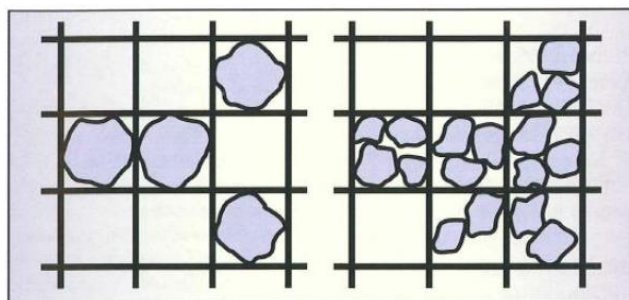


Figura 3.25: (1) Partículas presas nas aberturas das malhas (2) Criação de pontes de partículas [Anexo I]

Com o intuito de evitar esses acontecimentos são colocadas umas bolas saltitonas dentro da estrutura que suporta as malhas. Na Figura 3.26 é possível compreender um pouco melhor a estrutura mencionada. Embora não esteja representada, na secção superior encontra-se uma malha metálica com as aberturas pretendidas. A secção inferior suporta outra malha metálica, cujas dimensões das aberturas são bastante superiores à malha de cima, de forma a não prender granulados e poder colocar as tais bolas saltitonas dentro da estrutura. Assim, quando as partículas ficam presas nas aberturas, através do impacto, estas bolas conseguem desimpedir novamente a pesagem.

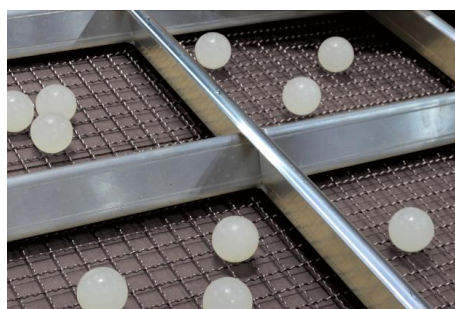


Figura 3.26: Exemplo de estrutura das malhas metálicas com as respetivas bolas saltitonas [7]

3.6.1 Eficiência do processo de separação

Este é um dos fatores mais cruciais para as empresas que utilizam estes equipamentos. Este fator consiste num rácio, dado por:

$$Eficiência (\%) = \frac{Q_{material \text{ à saída}}}{Q_{material \text{ à entrada}}} \times 100\% \quad (3.2)$$

Quanto maior for este rácio menor é a diferença entre a quantidade à saída e à entrada, resultando, assim, numa maior eficiência do equipamento.

3.6.2 Componentes dos *rotexes*

Como é possível observar na Figura 3.27, os *rotexes* são compostos por um sistema de motorização, uma estrutura superior e uma estrutura inferior. O sistema de motorização é constituído por um motor elétrico que transmite o seu movimento a um volante de inércia excêntrico de elevada robustez através de correias trapezoidais (Anexo II), originando assim um movimento giratório. A estrutura inferior serve de suporte para o sistema condutor de movimento e encontra-se suspensa por cabos de aço em quatro argolas (que se encontram nas extremidades). A estrutura superior está apoiada em dois cantos da estrutura inferior e, na outra extremidade, encontra-se fixa ao veio do volante excêntrico. Tal como é possível notar na Figura 3.28, é nesta estrutura superior que se encontram as malhas metálicas presas a estruturas de madeira. Os apoios que suportam a estrutura superior são compostos por carvão de grafite, de forma a impedir o contacto entre as duas estruturas metálicas. Como ambas as estruturas são compostas pelo mesmo tipo de material, se os apoios não fossem em grafite, devido ao atrito o metal poderia fundir ou criar faíscas e originar um incêndio. Estes apoios devem ser lubrificados frequentemente, de forma a diminuir o sobreaquecimento.

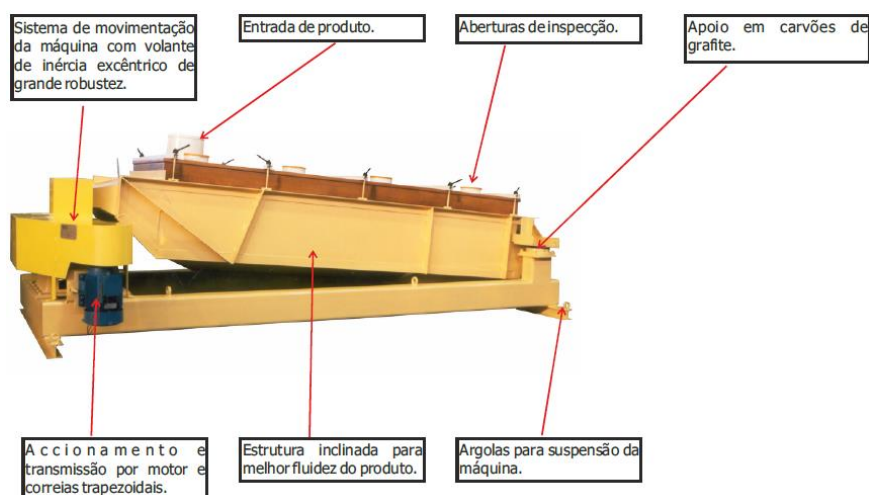


Figura 3.27: Componentes de um *rotex* da Tequimaq [Anexo II]



Figura 3.28: Estrutura que suporta as malhas metálicas de um *rotex* da Tequimaq [Anexo II]

3.6.3 Movimento dos *rotexes*

Como foi referido anteriormente, o movimento aplicado nos *rotexes* é um movimento circular. Contudo, este movimento não se transmite de forma circular ao longo de todo o equipamento. Através da seguinte figura é possível perceber que existem 3 tipos de movimentos ao longo do equipamento.

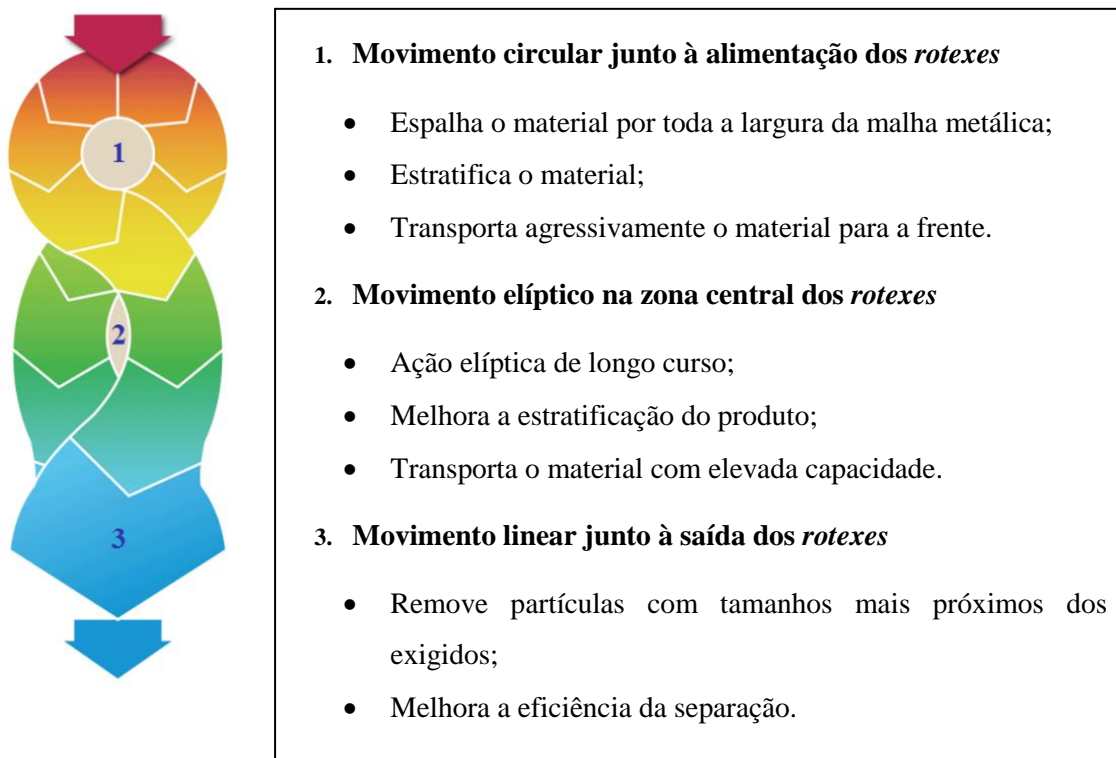


Figura 3.29: Movimento ao longo do *rotex*

Neste caso os *rotexes* existentes contêm 6 malhas metálicas que somente deixam passar granulados com dimensões inferiores a: 7,96 mm, 5,37 mm, 3,37 mm, 2,38 mm, 0,93 mm e 0,554 mm. Estes valores têm origem em unidades do sistema imperial (anglo-saxónico). Definem-se assim, conjuntos de granulado com as seguintes classes:

- Classe RCT: Granulado com dimensões entre 5 e 7 mm e entre 3 e 5 mm;
- Classe RA: Granulado com dimensões entre 2 e 3 mm;
- Classe RN/AD/ADT: Granulado com dimensões entre 1 e 2 mm;
- Classe BD/MD/AD/ADT de granulado entre 0.5 e 1 mm.

Todas as classes vão para as respetivas mesas densimétricas, onde dentro de cada classe o granulado é dividido consoante a sua massa volúmica. Contudo, nesta unidade industrial não existe necessidade de produzir granulado de classe RA e, por isso, todo o granulado entre 2 e 3 mm é reenviado para um moinho (moinho MIM) para ser novamente triturado.

3.7 Mesas densimétricas

As mesas densimétricas pertencem à classe dos equipamentos de separação por gravidade de partículas secas. Estes equipamentos são principalmente constituídos por um tampo poroso movimentado por um veio de excêntricos de forma a transmitir uma vibração longitudinal e um ventilador elétrico localizado abaixo do tampo com o intuito de gerar um fluxo de ar ascendente. O tampo trapezoidal das mesas densimétricas é um tampo de madeira composto por uma rede porosa com aberturas circulares. Estas aberturas têm de ser inferiores à partícula mais pequena que pode entrar na mesa prevenindo, assim, que nenhuma destas partículas caia para dentro do tampo [8]. Nestas mesas também é possível encontrar um conjunto de moegas na sua secção de saída de forma a orientar o material para as tubagens que o transportam para o destino pretendido. Através da Figura 3.30 é possível compreender melhor a composição de uma mesa densimétrica.

A vibração longitudinal e o fluxo de ar ajudam a espalhar as partículas, formando uma espécie de cama⁶ no tampo das mesas densimétricas. Este fenómeno estratifica o material de acordo com a densidade, fazendo com que as partículas de alta densidade se mantenham em contacto com a superfície, enquanto as partículas de baixa densidade flutuam em cima das outras. Tal como é possível observar na Figura 3.30, as moegas do lado esquerdo da mesa recebem as partículas com densidades mais baixas, enquanto as do lado direito recebem as partículas com densidades mais elevadas [8].

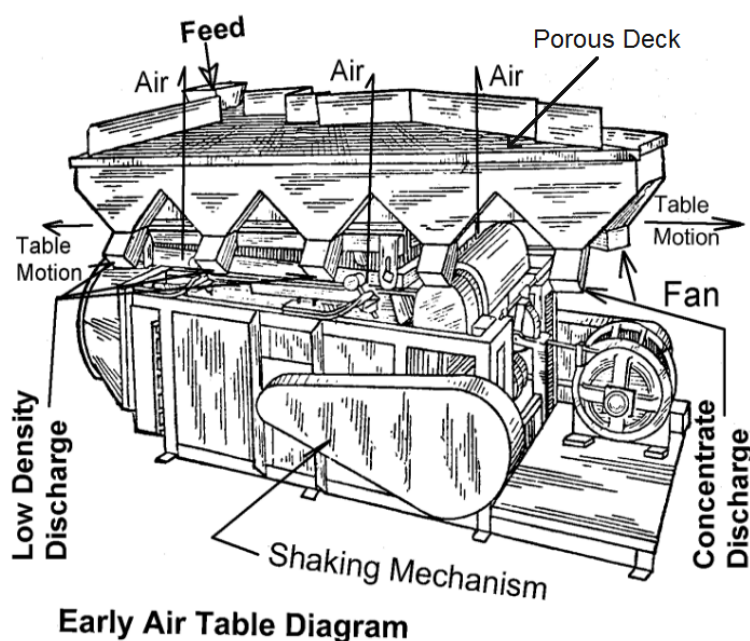


Figura 3.30: Componentes de uma mesa densimétrica (Adaptado Ref [9])

⁶ Conjunto de partículas com um determinado fluxo constante.

Pode-se ajustar a inclinação do tampo longitudinalmente e transversalmente, formando um ângulo α e um ângulo β , respectivamente. Na Figura 3.31 é possível visualizar a representação desses ângulos.

Devido à vibração longitudinal, as partículas mais pesadas fluem através do lado superior do tampo, que as leva para a moega de saída. Por outro lado, as partículas mais leves que se encontram em constante flutuação, caem para a secção inferior do tampo e são conduzidas para outra moega de saída da mesa densimétrica [8]. Os granulados com densidade intermédia caem para as moegas centrais.

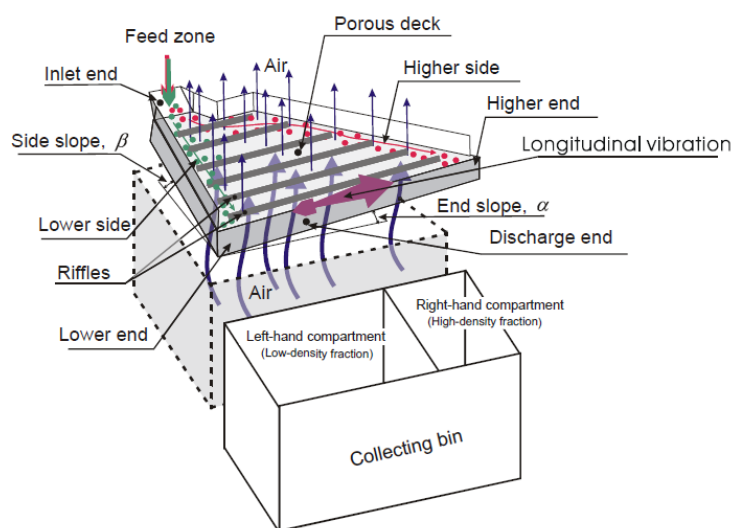


Figura 3.31: Demonstração das inclinações da mesa densimétrica [8]

3.7.1 Variáveis que influenciam diretamente a eficácia da separação das partículas

No artigo, referente à referência bibliográfica [8], foram realizados alguns testes que influenciavam a eficácia da escolha das partículas, utilizando uma mistura PVC/PP como o material em teste. Foi utilizado esta mistura como teste, pois o PVC utilizado tem uma densidade de 1400 kg/m^3 enquanto o PP utilizado tem uma densidade de 900 kg/m^3 . Estes testes têm como objetivo a determinação dos pontos ótimos da velocidade do ar, da frequência de vibração longitudinal e das diferentes inclinações. Para tal, em cada teste variaram uma das variáveis e fixaram as restantes.

Tendo em conta que a cortiça é um material com um comportamento bastante diferente da mistura utilizada no artigo referido anteriormente, os pontos ótimos concluídos não são relevantes para este documento. Isto é, com este subcapítulo o autor, apenas, tem o intuito de demonstrar a influência das diferentes variáveis da mesa densimétrica, com o objetivo de o leitor ter uma melhor percepção do funcionamento deste tipo de equipamentos.

3.7.1.1 Variação da velocidade do ar [8]

Com este teste, concluiu-se que um aumento demasiado acentuado na velocidade do ar origina uma flutuação de todas as partículas, direccionando-as para a zona inferior do tampo. Enquanto que para uma baixa velocidade a maioria das partículas são levadas para a secção de superior da mesa, pois a força provocada pela ventilação não é suficiente elevada para originar uma flutuação das partículas mais leves.

3.7.1.2 Variação da frequência de vibração longitudinal [8]

Após a execução de variados testes foi concluído que para uma baixa frequência as partículas de densidades mais elevadas (partículas de PVC) caíram para a secção inferior, contaminando, assim, as partículas mais leves (partículas de PP).

Tendo em conta que as partículas mais leves não estão em contacto com o tampo da mesa, a variação desta frequência pouco altera o comportamento destas partículas. Ou seja, com esta variação as partículas leves continuam a sair da mesa, praticamente, no mesmo sítio.

3.7.1.3 Variação da inclinação longitudinal (ângulo α) [8]

Através da seguinte figura é possível compreender melhor a influência que a inclinação do tampo tem na separação das partículas. Tal como se observa na figura abaixo representada, o ar tem força para elevar a partícula até esta se tornar suficientemente inferior à da atração gravítica. Após este fenómeno, a partícula começa a cair (percorrendo a trajetória x) até a força provocada pelo ar conseguir contrariar a atração gravítica e voltar a levantar a partícula. Este fenómeno dá-se inúmeras vezes até a partícula sair da mesa densimétrica.

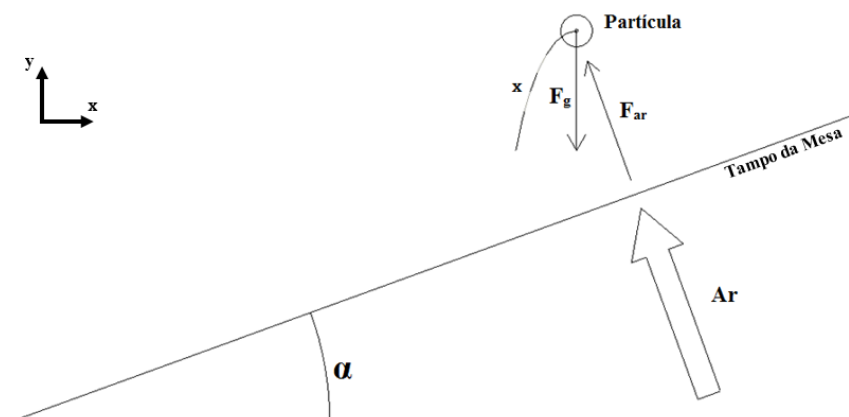


Figura 3.32: Trajetória de uma partícula leve numa mesa densimétrica

Com este teste foi possível perceber que com uma inclinação baixa as partículas de baixa densidade são transportadas para a secção superior da mesa. Se a inclinação α for demasiado baixa, o

movimento horizontal da partícula é quase nulo e, por arrasto, acaba por ser enviada para o topo da mesa, originando uma separação ineficiente.

Aumentando demasiado o ângulo α , devido à força gravítica as partículas mais pesadas começam a cair, pois a força provocada pela vibração não é suficiente para levar as partículas mais pesadas para o topo da mesa. Assim estas mantêm-se na secção mais baixa da mesa e saem na moega de saída das partículas mais leves.

3.7.1.4 Variação da inclinação transversal (ângulo β) [8]

Com esta experiência, concluíram que aumentando demasiado o ângulo β , as partículas mais pesadas começam a sair da mesa na secção de saídas das partículas mais leves. Isto acontece, pois diminui o tempo das partículas na mesa, direcionando-as logo para a saída e diminuindo a eficiência.

Uma baixa inclinação transversal aumenta o tempo das partículas, acumulando demasiado material e impossibilita uma boa distribuição das partículas. Com isto, as partículas mais pesadas arrastam as mais leves e dificulta a separação da mesa densimétrica.

Na UI De Sousa, existem 7 mesas densimétricas, havendo duas para granulados entre 5 e 7 mm, duas para granulados entre 3 e 5, duas para granulados entre 1 e 2 mm e uma para granulados entre 0.5 e 1 mm.

O granulado entra na mesa densimétrica e, como foi referido anteriormente, as partículas mais pesadas sobem. Neste caso, as partículas mais pesadas são as terras enquanto as mais leves são cortiça nobre. Quanto menor é a massa volúmica de um determinado grão, menos terras este grão contém e, conseqüentemente, tem um maior valor económico associado. Dado que cada classe de granulados tem a sua massa volúmica exigida, existe necessidade de controlar esse fator nas mesas densimétricas. Através da Figura 3.33 é possível observar que abaixo da placa existem umas travessas de metal que orientam a saída do granulado. As terras são o mais pesado nos granulados, logo serão as que percorrem um maior caminho no tampo da mesa densimétrica. Por isso, quanto maior for a densidade do granulado mais escuro ele é. Este fenómeno é possível verificar na Figura 3.34, para granulado com dimensões entre 1 e 2 mm. Nas mesas que possuem granulado 3/5 mm e 5/7 mm existem apenas duas saídas: alta densidade (terras presentes) e as restantes densidades. Enquanto que as outras mesas têm cinco saídas: baixa densidade, média densidade, alta densidade, alta densidade com terras e, somente terras.



Figura 3.33: Apresentação das travessas presentes na mesa densimétrica

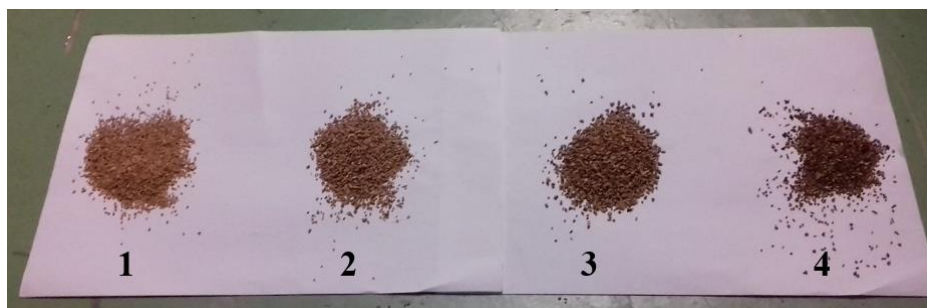


Figura 3.34: Densidades do granulado 1 a 2 mm: 1- Baixa densidade; 2- Média densidade; 3- Alta densidade; 4- Alta densidade com terras

Tendo em conta que o granulado nobre de 3 a 7 mm tem uma dimensão que é possível remoer, os grãos com altas densidades são enviados para um moinho (moinho MIM). Como é possível observar na Figura 3.35, estes grãos, embora contenham terra (parte mais escura) ainda têm uma grande parte de boa qualidade (núcleo), possível de aproveitar.



Figura 3.35: Granulado 3 a 7 mm de alta densidade

3.8 Terceira fase de trituração (Moinho MIM)

O princípio de funcionamento deste moinho é bastante semelhante aos moinhos utilizados na segunda fase da trituração. Uma das grandes diferenças encontra-se nos crivos. Como o granulado que chega a este moinho tem dimensões inferiores à que chega aos outros moinhos, os crivos usados neste caso têm rugosidades junto aos seus orifícios (semelhante a uma raladora), de forma a facilitar a trituração. Através da Figura 3.36 é possível observar a estrutura de fixação dos crivos e um dos crivos que geralmente é usado para este moinho. Existem diversos crivos com orifícios de dimensões diferentes, consoante as necessidades da produção.



Figura 3.36: Porta crivos do moinho MIM

Ao sair deste moinho, o granulado é reenviado para a tolva de alimentação dos *rotexes* e repete-se o processo que foi descrito anteriormente.

3.9 Processo de embalagem dos granulados

Antes de embalar, parte do granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ e todas as terras passam pelas suas respetivas balanças. A balança do granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ pesa 2 kg de cada vez e a das terras pesa 6 kg. Estas terras que são pesadas, têm dimensões muito pequenas e/ou massas volúmicas demasiado elevadas e não têm qualquer aproveitamento para a trituração. Nesta balança entram as terras que saíram do peneiro vibratório, dos *rotexes* e das mesas densimétricas 5, 6 e 7 (duas mesas do granulado 1 a 2 mm e uma mesa do granulado 0,5 a 1 mm). Tanto o pó como as terras são enviadas para um silo que as transporta para uma caldeira, de forma a gerar energia elétrica. A UI De Sousa só produz rolhas microgranuladas com granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$, por isso, a maioria deste granulado é enviado para silos (passando primeiro pela balança). Quando há necessidade de vender este granulado ou os silos se encontram cheios, muda-se a posição de uma válvula e o granulado deixa de ser transportado para os silos e passa a ser transportado para *Big Bag's* (sacos com capacidade

aproximada de 4 m³). Os granulados nobres⁷ 0,5 a 1 e de 3 a 7 mm, os granulados pesados de 0,5 a 1 mm e os granulados pesados com terras de 1 a 2 mm são todos armazenados dentro destes sacos. Após a armazenagem nos sacos, são pesados e enviados para o seu destino final (comprador). O granulado nobre 3 a 7 mm é vendido à Champcork (produção de rolhas de champanhe) e os restantes granulados referidos anteriormente são vendidos à Amorim Cork Composites. O granulado pesado de 1 a 2 mm é armazenado num silo e, posteriormente, vendido à Amorim Cork Composites, também.

Através da Figura 3.37 é possível observar o armazenamento do granulado nos respetivos *Big Bag's*.



Figura 3.37: Armazenamento do granulado em *Big Bag's*

3.10 Pontos de Controlo

Os pontos de controlo são usados para avaliar a matéria-prima usada para o processo de granulação e o granulado final. À chegada podem haver matérias-primas com contaminações detetadas a olho nu e durante o processo pode haver alguma contaminação, excesso de humidade, baixas massas volúmicas, entre outras no granulado. Por isso, existem dois pontos de controlo: na chegada da matéria-prima e antes do armazenamento do granulado.

3.10.1 Ponto de controlo da matéria-prima

Ao chegar a matéria-prima dos fornecedores é recolhida uma amostra por parte dos técnicos presentes no local. É enviado para o laboratório onde realizam testes ao TCA e à humidade presente. Caso os valores de TCA sejam demasiado altos, é transmitida ao fornecedor esta informação e caso isto aconteça três vezes num curto espaço de tempo, o grupo recusa a receção da matéria-prima

⁷ Granulado com massas volúmicas mais baixas, geralmente usado para a produção de rolhas.

deste fornecedor. Só poderá reenviar, novamente, cortiça para a empresa, se forem testadas novas amostras do seu produto e estas acusarem baixos valores de TCA.

3.10.2 Ponto de controlo do granulado

Após todas as fases de trituração, é recolhida uma amostra de granulado em cada intervalo de tempo, onde são realizados os seguintes testes: ao TCA, a granulometria, a massa volúmica e humidade. No caso do granulado nobre de 3 a 7 mm são retiradas amostras de hora em hora. Para o granulado usado nesta unidade industrial são retiradas amostras a cada duas horas. E para os restantes granulados são retiradas amostras a cada 4 horas. Tirando a análise ao TCA, os restantes testes também são realizados no terreno pelos operadores. O teste ao TCA apenas é realizado nos granulados nobres de 1 a 2 e de 3 a 7 mm, dado que são os únicos granulados usados para o fabrico de rolhas aglomeradas.

3.10.2.1 Controlo da humidade e massa volúmica do granulado

O granulado é colocado dentro de um funil que se encontra fechado na sua secção inferior. É colocada uma caixa cúbica com um volume de 1 dm^3 por baixo deste funil e abre-se a secção inferior do funil. Através de uma régua de acrílico, que se encontra representada em baixo, é retirado o excesso de material da caixa. Como é possível notar na figura seguinte, esta régua tem uma inclinação de 45° na extremidade inferior, de forma a empurrar algum granulado para dentro da caixa e a tirar o excesso para fora. Se não houvesse esta inclinação, na parte superior da caixa ir-se-iam notar algumas cavidades devido à falta de granulado.

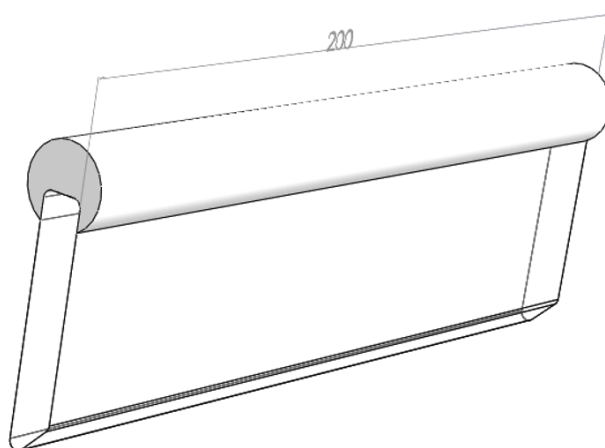


Figura 3.38: Régua de acrílico utilizada na análise de massa volúmica dos granulados

Por fim, a caixa cúbica com granulado é pesada, retirada a tara e registado o valor em gramas. Dado que, o cubo tem 1 dm^3 , o valor retirado será igual a g/dm^3 que é equivalente a kg/m^3 . A massa volúmica assim determinada é afetada pela taxa de humidade do granulado. Pois esta massa volúmica não corresponde à real. Por exemplo, um granulado com maior percentagem de humidade

é mais pesado do que um com uma percentagem inferior, contudo podem-se encontrar ambos dentro de especificação. Se tiver demasiada humidade, basta passá-lo novamente pelo secador de forma a tirar este excesso de água em vez de o rejeitar. A empresa determinou que o valor percentual padrão de humidade é 8% e todas as massas volúmicas são corrigidas a esta percentagem de humidade. Esta correção é feita através da seguinte equação.

$$M.V.C. = M.V.A. + M.V.A. \times \frac{8\% - H(\%)}{100\%} \quad (3.3)$$

Se não houver esta correção, a empresa pode estar a desperdiçar granulado com a qualidade requerida. O granulado poderia ter uma massa volúmica dentro de especificação, mas devido ao excesso de água presente poderia ser rejeitado, diminuindo assim o lucro da empresa.

A empresa também determinou que os granulados usados para a produção de rolhas têm de ter humidades entre os 5% e 10%. Quando as humidades não se encontram dentro destes valores, os operadores têm de diminuir ou aumentar a temperatura do secador até a humidade do granulado pertencer a este intervalo.

Após estas medições, é necessário avaliar a seguinte tabela, de modo a verificar se o granulado se encontra dentro das especificações exigidas pela empresa. Se a massa volúmica corrigida não se encontrar dentro do intervalo permitido, são realizadas alterações nas mesas densimétricas. No subcapítulo 3.7 foram mencionadas as travessas metálicas que orientam a saída do granulado. Quando a massa volúmica de um dado granulado não se encontra dentro das especificações, as travessas são mexidas de forma a aumentar ou diminuir a massa volúmica do respetivo granulado.

Tabela 3.2: Especificações das massas volúmicas dos granulados

Dimensões do granulado	Classe do granulado	Massa volúmica corrigida [kg/m ³]
3 a 7 mm	RCT	70 ± 2
	RN	60 ± 2
1 a 2 mm	A.D.	110 ± 10
	A.D.T.	205 ± 45
0,5 a 1 mm	B.D. ⁸	55 ± 2
	M.D.	70 ± 5
	A.D.	110 ± 10
	A.D.T.	250 ± 20

⁸ Neste momento não existe controlo deste granulado porque está a ser misturado com o granulado M.D.

3.10.2.2 Controlo da granulometria do granulado

Para o teste de granulometria são retiradas amostras de 50 gramas de granulado e são colocadas dentro de um conjunto de peneiros, cada um com as suas dimensões de malha. Na Figura 3.39 abaixo apresentada, é possível perceber melhor este teste. Por dentro, são constituídos por uma malha metálica com furos quadrangulares, tal como existem nos *rotexes*. São colocados numa plataforma vibratória, com uma determinada frequência durante dez minutos. Ao fim desses dez minutos, o granulado presente em cada peneiro é pesado e quantificado em percentagem, de forma a extrapolar os valores para todo o granulado que foi produzido nas horas anteriores.

O teste de granulometria é usado para saber se o granulado se encontra dentro das especificações da empresa. Caso não se encontre é necessário investigar a origem do problema. O problema, por exemplo, pode vir da ineficácia de separação por parte dos *rotexes*. Caso hajam granulados com dimensões superiores às exigidas, então provavelmente existe algum dano nas redes dos *rotexes*. Esta é uma forma de verificar se estes equipamentos necessitam de manutenção, quando esta não foi devidamente prevenida. O rotor dos moinhos também pode estar com frequências demasiado elevadas, originando mais cortes no granulado e tornando-o mais fino. Ou seja, granulometrias fora de especificação podem surgir devido a diversos fatores, as quais têm de ser investigados e analisados.



Figura 3.39: Agitador vibratório e peneiros usados para determinar a granulometria do granulado (Ref [10])

3.11 Reprocessamento

Todo o material que não se encontra dentro das especificações da empresa, exceto se tiver contaminado com TCA, é reprocessado, entrando novamente no circuito. Este granulado que se encontra em *Big Bag's* é colocado em cima de uma tolva de alimentação, que envia o material para

um ciclone⁹. Após o ciclone aspirar o excesso de pó, o granulado é enviado para a tolva de alimentação dos *rotexes*.

A capacidade de reproprocessamento é uma mais valia para a empresa, por duas razões. Se não houvesse reproprocessamento a empresa não poderia reaproveitar algum material que tivesse fora de especificação. Além disso, a tolva de alimentação também é importante para a realização de alguns testes que a empresa pretenda fazer, tal como será referido no subcapítulo 4.2.3.

3.12 Cálculo do rendimento

O rendimento é calculado diariamente dado que as produções de granulados apenas são apuradas diariamente. Como a matéria-prima de cortiça que a trituração recebe não tem a mesma humidade e, de forma a diminuir os custos da sua aquisição, a empresa definiu um valor padrão para humidade, sendo este valor de 14 %. Visto que a empresa paga a matéria-prima pelo seu peso aos fornecedores, se este não fosse corrigido para uma humidade padrão definida pelo grupo, originar-se-iam custos desnecessários. Por exemplo, dois fornecedores com o mesmo tipo de matéria-prima, se um desses fornecedores tiver uma matéria-prima com mais humidade, esta será mais pesada do que a outra. Se não houvesse esta correção, o grupo estaria a pagar mais a um dos fornecedores por ter uma matéria-prima mais húmida. Assim, optou-se por definir um valor padrão de 14 % para a humidade e corrigir toda a matéria-prima para esse valor. Através da seguinte equação é possível compreender como é realizada esta correção.

$$P.C_{M.P.} = P_{M.P.} + P_{M.P.} \times \frac{14 \% - H(\%)}{100 \%} [kg] \quad (3.4)$$

Dado que o valor da humidade representa a percentagem de água existente na matéria-prima, esta expressão é bastante perceptível. Se houver uma matéria-prima com uma percentagem de humidade superior a 14 %, é retirado ao valor do seu peso inicial a diferença entre as percentagens.

Com o intuito de diminuir os custos com a compra da cortiça, o grupo estipulou uma nova forma de corrigir o peso da matéria-prima à humidade de 14 %. Foram realizadas variadas reuniões com os fornecedores, de modo a chegarem a um consenso e obteve-se a seguinte expressão:

$$P.C_{M.P.} = P_{M.P.} \times \frac{100 \% - H(\%)}{100 \% - 14 \%} [kg] \quad (3.5)$$

Esta fórmula, a nível matemático não faz muito sentido, pois neste caso não é referida a diferença entre ambas as humidades, mas sim a sua razão.

⁹ Este ciclone também recebe o granulado proveniente do secador.

O peso de todo o tipo de granulado também é corrigido, contudo, neste caso, o valor padrão da humidade é de 8 %. Desta forma, tanto o cliente como o próprio setor da trituração não são prejudicados. Tal como na equação (3.5), a fórmula que demonstra a correção do peso do granulado à humidade de 8 %, é:

$$P.C_{Gran} = P_{Gran} + P_{Gran} \times \frac{8\% - H(\%)}{100\%} [kg] \quad (3.6)$$

Após se conhecerem os consumos da matéria-prima, a produção dos diferentes granulados e os seus pesos corrigidos, já é possível determinar o rendimento da trituração. A equação representada em baixo, apresenta o cálculo do rendimento de uma trituração.

$$Rendimento_{Gran}(\%) = \frac{P.C_{Gran} (kg)}{P.C_{M.P.} (kg)} \times 100\% \quad (3.7)$$

O rendimento dos granulados usados para a produção de rolhas aglomeradas é a soma dos rendimentos dos granulados nobres de 1 a 2 e de 3 a 7 mm. O rendimento dos granulados nobres é a soma dos rendimentos de todas as classes de granulometria de granulados nobres. Por último, para o rendimento total dos granulados são somados os rendimentos de todos os granulados vendidos pelo setor da trituração a outras empresas ou unidades industriais.

As perdas resultam da diferença entre a quantidade de matéria-prima consumida e as produções de granulados e terras. A quantidade de perdas em percentagem dá-se pela razão entre a quantidade das perdas e a quantidade de matéria-prima consumida. Estas perdas, representam a humidade perdida e o pó formado durante o processo de trituração. A quantidade de matéria-prima é corrigida à humidade de 14 % e a quantidade de granulado produzida é corrigida à humidade de 8 %. Com esta diferença é possível perceber que existem perdas não contabilizadas devido às correções das quantidades. Durante o processo, a cortiça é cortada variadas vezes e, como tal, cria-se uma determinada quantidade de pó que também não é contabilizado. Esta criação de pó também entra nas perdas. Ou seja, as perdas representam a humidade perdida e o pó formado durante todo o processo de trituração.

Como foi referido no subcapítulo 3.4.1, toda a cortiça com dimensões superiores a 10 mm que sai do peneiro vibratório, é enviada para um silo. Embora este garanta que, caso haja algum problema na primeira fase de trituração, o processo não para imediatamente, também acaba por afetar para o cálculo do rendimento. Se a quantidade de *Broken* de cortiça não for sempre a mesma no final de cada dia, observar-se-ão desvios no rendimento. Por exemplo, se no início do dia não houver nenhuma cortiça dentro do silo e no final do mesmo dia estiverem quatro toneladas dentro do silo (aproximadamente um terço da sua capacidade), significa que se consumiram quatro toneladas que

não foram utilizadas para a produção de granulados. Com isto, o rendimento deste dia vai cair e a percentagem das perdas irá crescer bastante. Se no dia seguinte o silo se encontrar novamente vazio, as quatro toneladas não entraram para o consumo de matéria-prima desse dia e, portanto, o rendimento vai subir e as perdas irão descer. Devido à quantidade de cortiça dentro do silo que não é contabilizada, por vezes podem-se verificar perdas negativas. Se apenas foram pesadas 50 toneladas de cortiça a entrar no moinho MDT e produziu-se um total de 52 toneladas de granulados e terras, significa que há matéria-prima que não foi contabilizada. Isto, devido àquela quantidade presente no silo e, assim, obtêm-se as perdas negativas e rendimentos bastante elevados. Só seria possível ter rendimentos mais reais, caso houvesse um sistema dentro do silo que conseguisse determinar a quantidade (em quilogramas) de *Broken* de cortiça ali presente.

4

Análise ao processo de trituração da cortiça

A fase inicial da estadia na empresa teve como objetivo conhecer da melhor forma o processo de trituração, de modo a perceber os aspetos que poderiam ser otimizados. Ao fim desse tempo, começou a analisar-se todos os fatores que, poderiam ser melhorados e conseguiriam contribuir para o aumento do rendimento do processo de trituração. Durante os seis meses na empresa, o autor apercebeu-se de alguns fatores possíveis de serem estudados que poderão conduzir a uma melhoria de rendimento dos diversos tipos de granulados. Estes fatores serão enumerados, descritos e explorados nos subcapítulos seguintes.

1. Análise à tolva de alimentação dos *rotexes*.
2. Análise às terras à saída do peneiro vibratório.
3. Análise às mesas densimétricas do granulado de 1 a 2 mm.
4. Análise ao granulado de 1 a 2 mm com massas volúmicas entre 100 e 120 kg/m³.
5. Análise aos filtros de despoeiramento do granulado.
6. Análise às redes dos *rotexes*.

4.1 Tolva de alimentação dos *rotexes*

Como foi referido no subcapítulo 3.6, o granulado depois de sair do secador e do moinho MIM é enviado para uma tolva de alimentação. Esta tolva é constituída por dois transportadores sem-fim, que direcionam uma parte do granulado para o primeiro *rotex* e outra parte para o segundo *rotex*. Como as tubagens de entrada não se encontram no meio da tolva de alimentação, existe um *rotex* que recebe granulado mais fino do que o outro. Através da Figura 4.1 é possível perceber que o *rotex* 2 recebe granulado mais fino, pois recebe maioritariamente granulado proveniente do moinho MIM (moinho com um crivo de 2 mm).

A chapa móvel tem como principal objetivo evitar este desequilíbrio entre os *rotexes*, contudo não consegue ser muito eficaz. Este desequilíbrio entre os *rotexes*, também vai provocar uma grande diferença entre as mesas densimétricas. Existem mesas densimétricas com excesso de granulado e outras que se encontram mais vazias. Isto pode provocar uma má escolha dos granulados mais pesados e mais leves. Se a mesa estiver demasiado cheia, o granulado leve recebe pouco ar proveniente do tampo da mesa e acaba por ser arrastado pelo material mais pesado. Assim, irão ocorrer desperdícios e, consequentemente, uma queda nos rendimentos.

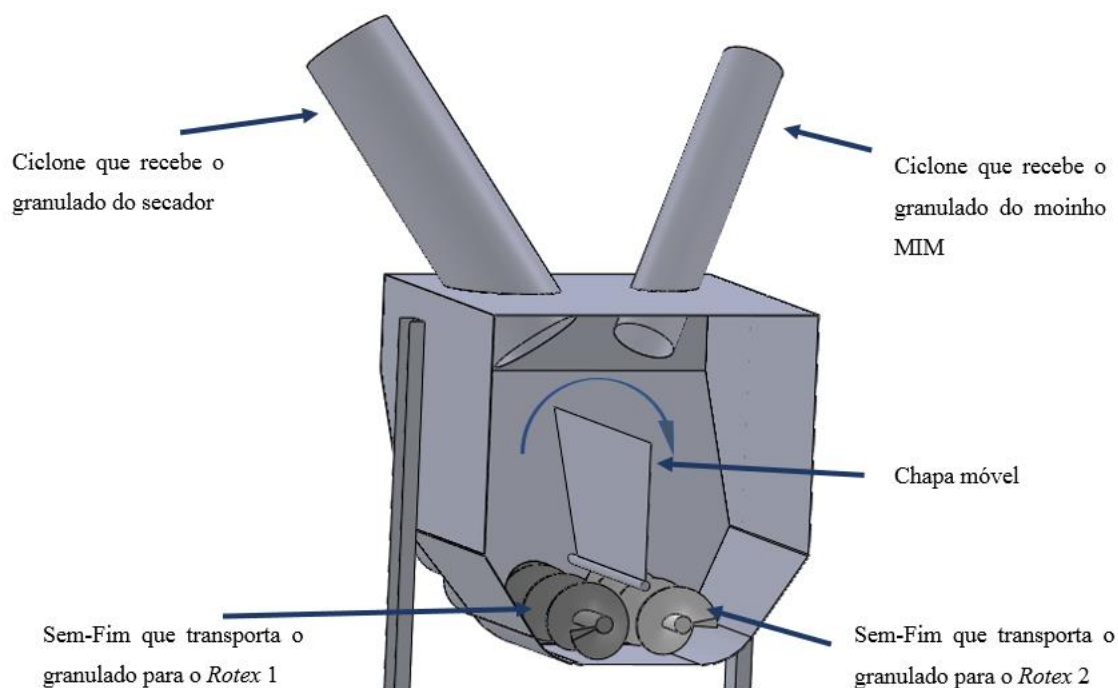


Figura 4.1: Esquema da tolva de alimentação dos rotexes

Devido a este problema, será necessário avaliar uma possível melhoria que diminua a discrepância entre os caudais de granulado à entrada dos *rotexes*.

4.2 Análise às terras à saída do peneiro vibratório

Como foi referido no final do subcapítulo 3.3, o granulado inferior a 1,5 mm à saída do peneiro vibratório é considerado como terras, ou seja, é enviado para a caldeira para a produção de energia. Contudo, após uma análise a estas terras, verificou-se que havia granulado com boa qualidade a ser enviado para a caldeira. Através da seguinte figura é possível observar que existe granulado com aspeto claro juntamente com as terras, colocando-se, assim, a possibilidade de existir um desperdício de cortiça.



Figura 4.2: Amostra de granulado inferior a 1,5 mm à saída do peneiro vibratório

4.2.1 Primeira fase de análise às terras

De forma a perceber-se o granulado existente nas terras, foram realizados três testes de granulometria. Para tal, foi retirado uma amostra à saída do peneiro vibratório com, aproximadamente, 900 gramas e foi dividida em três grupos. Na tabela seguinte, são mencionadas as diferentes quantidades de terras existentes em cada peneiro. Havendo a possibilidade de se analisar estas terras numa mesa densimétrica, com a realização deste teste, consegue-se ter uma pequena previsão do que se poderá suceder nessa futura análise. Tal como se verifica na Tabela 4.1, existe, aproximadamente 19,4 % (média das três amostras) de terras com dimensões abaixo de 0,5 mm¹⁰ de dimensão. Devido à presença destas terras, pode-se prever uma má eficiência de separação por parte da mesa densimétrica. Pois, como estas terras têm dimensões tão pequenas, poderão sair da mesa densimétrica na saída que corresponde ao material mais leve. Assim, existe a possibilidade de haverem granulados nobres que saem da mesa na saída dos materiais pesados, originando um teste com resultados pouco satisfatórios ou longe da realidade.

Tabela 4.1: Teste de granulometria das terras à saída do peneiro vibratório

Dimensão dos peneiros [mm]	1ª Amostra		2ª Amostra		3ª Amostra	
	Peso [g]	Percentagem	Peso [g]	Percentagem	Peso [g]	Percentagem
1,7	3	1,01%	2,3	0,78%	2,6	0,88%
1,4	18,3	6,16%	15,5	5,23%	18,3	6,17%
1,18	33,4	11,25%	30,9	10,42%	33,8	11,40%
1	43,7	14,72%	42,4	14,30%	41,9	14,13%
Total (1/2)	98,4	33,11%	91,1	30,71%	96,7	32,61%
0,85	33,5	11,28%	35,3	11,90%	32	10,79%
0,71	41,6	14,01%	45,3	15,27%	37,4	12,61%
0,6	33,4	11,25%	35,5	11,97%	31,7	10,69%
0,5	34,4	11,59%	37,1	12,51%	33,7	11,37%
Total (0,5/1)	142,9	48,13%	153,2	51,65%	134,8	45,46%
Abaixo de 0,5	55,6	18,73%	52,3	17,63%	65	21,92%
TOTAL	296,9	100%	296,6	100%	296,5	100%

Embora, se tenha verificado uma presença relevante de material com dimensões inferiores a 0,5 mm, também se confirmou que a maioria das terras têm dimensões superiores a este valor. Durante o teste de granulometria observou-se que, conforme o granulado era mais fino, mais escuro ficava.

¹⁰ Este granulado não é utilizado para venda. É encaminhado para a caldeira com o objetivo de produzir energia.

Notou-se que o material com dimensões superiores a 1 mm tinha uma tonalidade mais clara não havendo muita costa agarrada a este. Isto indicia que a probabilidade de se encontrar granulado leve de 1 a 2 mm nestas terras à saída do peneiro vibratório é bastante alta. Contudo, falta descobrir se realmente esta observação é verídica e qual a quantidade existente deste granulado que estava a ser enviado para a caldeira.

4.2.2 Segunda fase de análise às terras

Após a anterior análise às terras que se encontram à saída do peneiro vibratório, optou-se por fazer uma reanálise mais profunda, de forma a tirar melhores conclusões. Para tal, foram desviadas estas terras para uma mesa densimétrica, com o intuito de retirar os granulados mais leves destas terras.

À saída da mesa densimétrica, foram retiradas duas amostras com aproximadamente 600 gramas cada uma, de modo a analisar a sua granulometria e massas volúmicas. Primeiro dividiu-se cada amostra em 3 grupos, de 200 gramas cada um, de forma a testar as terras relativamente à sua granulometria. Através das tabelas Tabela 4.2 e Tabela 4.3 é possível perceber as quantidades existentes em cada classe de granulometria. Note-se que, neste caso, os valores de granulados inferiores a 0,5 mm já são bastante superiores aos apresentados na Tabela 4.1 cujas as amostras foram retiradas à saída do peneiro e não como neste caso em que as amostras foram retiradas após a passagem por uma mesa densimétrica.

Tabela 4.2: Teste de granulometria das terras à saída do peneiro vibratório, após serem separadas por densidade (primeira amostra de 600 gramas)

Dimensão dos peneiros [mm]	1ª Amostra		2ª Amostra		3ª Amostra	
	Peso [g]	Percentagem	Peso [g]	Percentagem	Peso [g]	Percentagem
1,7	5,6	2,80 %	6,2	3,10 %	4,3	2,15 %
1,4	11,7	5,86 %	11,4	5,71 %	7,5	3,75 %
1,18	10,8	5,41 %	9,7	4,86 %	6,7	3,35 %
1	11,6	5,81 %	10,1	5,06 %	7,2	3,60 %
Total (1/2)	39,7	19,88 %	37,4	18,73 %	25,7	12,86 %
0,85	9,5	4,76 %	7,9	3,96 %	6	3,00 %
0,71	13,8	6,91 %	11,5	5,76 %	8,6	4,30 %
0,6	13,2	6,61 %	11,4	5,71 %	10	5,01 %
0,5	22,6	11,32 %	20,4	10,22 %	18,6	9,31 %
Total (0,5/1)	59,1	29,59 %	51,2	25,64 %	43,2	21,62 %
Abaixo de 0,5	100,9	50,53 %	111,1	55,63 %	130,9	65,52 %
TOTAL	199,7	100 %	199,7	100 %	199,8	100 %

Tabela 4.3: Teste de granulometrias das terras à saída do peneiro vibratório, após serem separadas por densidade (segunda amostra de 600 gramas)

Dimensão dos peneiros [mm]	1ª Amostra		2ª Amostra		3ª Amostra	
	Peso [g]	Percentagem	Peso [g]	Percentagem	Peso [g]	Percentagem
1,7	3,9	1,95 %	5,9	2,95 %	6,5	3,26 %
1,4	7,8	3,90 %	12	6,00 %	11,5	5,76 %
1,18	7,1	3,55 %	10,7	5,35 %	9	4,51 %
1	7,5	3,75 %	11,9	5,95 %	10,6	5,31 %
Total (1/2)	26,3	13,16 %	40,5	20,26 %	37,6	18,85 %
0,85	6,9	3,45 %	9,3	4,65 %	8,9	4,46 %
0,71	8,2	4,10 %	14	7,00 %	13	6,52 %
0,6	10,4	5,21 %	12,9	6,45 %	8,5	4,26 %
0,5	19,2	9,61 %	23	11,51 %	19,2	9,62 %
Total (0,5/1)	44,7	22,37 %	59,2	29,61 %	49,6	24,86
Abaixo de 0,5	128,8	64,46 %	100,2	50,13 %	112,3	56,29 %
TOTAL	199,8	100 %	199,9	100 %	199,5	100 %

Após serem determinadas as quantidades presentes em cada classe de granulados, é necessário determinar as suas massas volúmicas. Nos seis testes de granulometria, o autor separou os granulados consoante a sua classe de granulometria, de forma a determinar, posteriormente, a sua massa volúmica. Se as massas volúmicas forem demasiado elevadas, a probabilidade de se conseguir tirar quantidades significativas de granulados nobres diminui. Assim consegue-se ter uma perceção do tipo de granulado que se obterá, caso se implemente uma mesa densimétrica e se, de facto, o investimento feito se traduzirá em melhorias do rendimento do processo.

Na Tabela 4.4 são apresentadas as quantidades médias e as massas volúmicas dos granulados testados nesta segunda fase de análise às terras.

Tabela 4.4: Quantidade de granulado e respetivas massas volúmicas corrigidas

	Granulado 1/2 mm	Granulado 0,5/1 mm	Granulado inferior a 0,5 mm
Quantidade	17,29 %	25,62 %	57,09 %
Massa Volúmica [kg/m ³]	80,1	134,2	247,6

Ao concluir-se o teste de granulometria, foram medidas as respetivas massas volúmicas aparentes e humidades, com o intuito de calcular a massa volúmica corrigida, respetiva. Na Tabela 4.4 é

possível observar que grande parte das terras analisadas, à saída do peneiro vibratório, têm dimensões inferiores a 0,5 mm. Tendo em conta que o granulado de 1 a 2 mm tem uma massa volúmica de, aproximadamente, 80 kg/m³, pode-se considerar que grande parte dele pode ser aproveitada para a produção de rolhas.

Dado que, foram obtidos valores interessantes de massa volúmica para os granulados de 1 a 2 mm e de 0,5 a 1 mm, optou-se pela realização de testes mais precisos, de forma a obter quantidades e massas volúmicas mais exatas.

4.2.3 Terceira fase de análise às terras

Após a conclusão do teste realizado anteriormente, foi instalada definitivamente uma mesa densimétrica à saída do peneiro, com o intuito de reanalisar as terras durante o processo de trituração. Com esta mesa, todas as terras que, anteriormente, saíam do peneiro vibratório e eram enviadas para a caldeira, passaram a ser analisadas nesta mesa. Poder-se-ia enviar as terras diretamente para o processo, contudo, se todas estas terras entrassem no processo, poderiam provocar entupimentos no mesmo, principalmente, nos *rotexes* e nos filtros do secador.

De modo a conhecer melhor as terras que estariam a ser enviadas para o processo, à saída da mesa densimétrica foi ligada uma tubagem flexível às tubagens do circuito, que conduziriam estas terras para *Big Bag*'s. Ao fim de cinco dias (115 horas) conseguiu-se tirar quatro *Big Bag*'s com um total de 1784,9 kg corrigidos à humidade de 8%, que resulta num caudal de 15,52 kg/h. Ao fim de um ano (318 dia de trabalho) resultaria em aproximadamente mais 113,5 toneladas de material a entrar no circuito.

Após se retirarem estes cinco *Big Bag*'s, foram colocados na tolva de alimentação do reprocessamento. Como era de prever, apenas uma das mesas densimétricas do granulado 1 a 2 mm e a do granulado 0,5 a 1 mm receberam o material. Mantiveram-se as restantes mesas densimétricas ligadas, porque poderia haver algum material com dimensões inesperadas (superiores a 1,5 mm). Inicialmente, foram feitas inúmeras alterações nas posições das travessas das mesas densimétricas até as massas volúmicas dos diferentes tipos de granulado de 1 a 2 mm e 0,5 a 1 mm se encontrarem dentro de especificação (apresentadas na Tabela 3.2). A Tabela 4.5 mostra as médias das respetivas massas volúmicas e humidades de cada classe de granulado.

Através da Tabela 4.5 é possível notar que as duas classes de granulado de 1 a 2 mm mais pesadas estão fora das especificações da empresa. Por isso optou-se por juntar os dois granulados e classificando-o como granulado com massa volúmica de, aproximadamente, 110 kg/m³. Mesmo juntando os dois granulados esta classe de granulados mantém-se fora de especificação, concluindo assim que seria possível abrir as travessas da mesa densimétrica que analisa as terras à saída do

peneiro vibratório. O problema é que, conforme, experimentado o caudal iria aumentou de tal forma que ocorreram entupimentos e, consequentemente, paragens na trituração. De modo a impedir estes entupimentos, a travessa da mesa densimétrica manteve-se no mesmo sítio e analisar outra possível solução que aumentasse o rendimento.

Tabela 4.5: Massas volúmicas e humidades das respetivas classes de granulado retiradas durante o teste às terras

	Granulado de 1 a 2 mm			Granulado de 0,5 a 1 mm	
	60 ± 2 kg/m ³	110 ± 10 kg/m ³	205 ± 45 kg/m ³	70 ± 5 kg/m ³	110 ± 10 kg/m ³
MVA [kg/m ³]	59,5	98	103,3	72,9	117,8
Humidade	8,34%	9,36%	9,09%	8,99%	9,89%
MVC [kg/m³]	59,6	94,9	102,1	72,1	115,6

Após se juntarem as quantidades dos granulados mais pesados de 1 a 2 mm, foram analisadas todas as quantidades das respetivas classes de granulados e, consequentemente, os rendimentos associados. Para tal, os valores foram extrapolados de forma a obterem-se as quantidades e valores ao final de um ano de trabalho. Através da seguinte tabela é possível compreender melhor toda a análise feita ao teste das terras à saída da nova mesa densimétrica.

Tabela 4.6: Quantidades e lucros da 3ª fase de testes realizado às terras

	Granulado de 1 a 2 mm		Granulado de 0,5 a 1 mm		TOTAL
	60 kg/m³	110 kg/m³	70 kg/m³	110 kg/m³	
Peso [kg]	161,5	157	60	124,5	-----
Humidade	8,34 %	9,28 %	8,99 %	9,89 %	-----
Peso corrigido a 8% de humidade [kg]	161,0	155,0	59,4	122,1	497,5
Percentagem de granulado nas terras	9,02 %	8,68 %	3,33 %	6,84 %	27,9 %
Horas de produção	115,0	115,0	115,0	115,0	-----
Caudal [kg/h]	1,4	1,3	0,5	1,1	4,3
Caudal Diário [kg/dia]	32,2	31,0	11,9	24,4	99,5
Quantidade (em 318 dias) [kg]	10236	9857	3778	7769	31640
Preço de venda por kg [€/kg]	3,20 € ¹¹	0,90 € ¹¹	1,80 € ¹¹	0,90 € ¹¹	-----
Valor ao final do ano [€]	32.768 €	8.872 €	6.801 €	6.992 €	55.421 €

¹¹ Estes valores não correspondem aos valores reais. De forma a salvaguardar a confidencialidade da empresa, foram apresentados valores fictícios

Como foi citado anteriormente, seria possível aumentar ainda mais o caudal que entra de novo no circuito, contudo a quantidade de entupimentos iria aumentar e, conseqüentemente, iriam diminuir os rendimentos. Embora se tenha verificado que não é a melhor solução, pode-se dizer que se verifica um aumento no rendimento da empresa ao final do ano. No subcapítulo 5.2 serão apresentadas novas soluções de forma aumentar o rendimento.

4.3 Análise às mesas densimétricas do granulado de 1 a 2 mm

Nos subcapítulos 3.7.1.3 e 3.7.1.4, foi explicado que as alterações das duas inclinações da mesa densimétrica afetam a eficiência de separação e escolha do material. Contudo, no artigo referido nesses subcapítulos, os investigadores realizaram os testes com dois tipos de materiais sintéticos, cujas massas volúmicas eram substancialmente diferentes.

A cortiça é um material natural, o que torna esta tarefa mais complicada, dado que todas as cortiças são diferentes umas das outras. Tal como foi referido no subcapítulo 3.1, existem diferentes tipos de cortiça, sendo uns mais nobres do que os outros. O refugo, por exemplo, geralmente tem muita costa agarrada à cortiça, originando uma quebra na produção de granulados nobres. Dentro do próprio refugo existem variações na qualidade, isto é:

- Refugos com muita costa e pouca cortiça nobre (má qualidade);
- Refugos com pouca costa e alguma cortiça nobre (qualidade melhor do que o exemplo referido anteriormente);
- Dois tipos de refugo com a mesma quantidade de cortiça nobre, contudo a cortiça presente num deles tem massas volúmicas superiores às do outro.

A variação das massas volúmicas dos diferentes granulados, foi algo possível de notar durante a análise ao processo de trituração. Por vezes, em uma hora de trabalho a massa volúmica tem uma variação de mais ou menos 3 kg/m³, sem ocorrerem alterações na mistura de matéria-prima colocada no moinho MDT. Isto significa que existem muitas variações dentro de cada tipo de matéria-prima de cortiça, tornando assim, instável o processo e os testes realizados. Embora existam estas variáveis, foram realizados alguns testes com o intuito de perceber se uma maior inclinação da mesa densimétrica resultaria num aumento do caudal do granulado de 1 a 2 mm usado para a produção de rolhas.

Numa primeira fase, foi realizado um teste de forma a verificar a teoria mencionada no subcapítulo 3.7.1. Durante três horas foram alteradas as inclinações longitudinal e transversal, de forma a tentar obter-se o ponto ótimo de inclinação. A mesa começou com uma inclinação longitudinal de 4,54° e uma inclinação transversal de 7,67° e a massa volúmica corrigida do granulado nobre de 1 a 2 mm inicialmente era de 58,7 kg/m³. Tendo em conta que ambas as inclinações se encontravam no

máximo, começou-se por diminuir uma das inclinações, realizando variadas combinações possíveis. Alteraram-se as inclinações da mesa de forma a estas se encontrarem no nível máximo, médio e mínimo. Conforme se foram baixando as inclinações começou-se a verificar quedas nas massas volúmicas e nos caudais dos respetivos granulados, dado que a mesa começou a homogeneizar o material. Isto é, o material mais leve começou a ser arrastado pelos mais pesados, diminuindo também as massas volúmicas dos granulados mais pesados. No final, deixou-se a mesa como estava antes da realização do teste e notou-se que, por exemplo, a massa volúmica do granulado nobre decaiu para $55,9 \text{ kg/m}^3$, ou seja, houve uma queda de $2,8 \text{ kg/m}^3$. Para além disso, também se verificou uma descida acentuada no caudal deste granulado de, aproximadamente, 100 kg/hora.

Através deste teste, foi possível concluir que a experiência realizada no artigo correspondente à referência [8] não pode ser aplicada neste caso. Dado que, se não for possível fixar as diferentes variáveis do material, os testes a executar serão totalmente inconclusivos.

Contudo, decidiu-se fazer novamente este teste, mas deixando a mesa estabilizar durante algumas horas e analisar o caudal. Nesta segunda fase de testes, durante a hora da paragem, foi aumentado $0,75^\circ$ na inclinação longitudinal, passando a fazer um ângulo de $3,10^\circ$ com o eixo horizontal. Enquanto que se manteve a inclinação transversal com um ângulo de $6,84^\circ$. No fim de se estabilizar a mesa, esperaram-se duas horas e verificou-se um aumento no caudal do granulado nobre de 1 a 2 mm de, aproximadamente, 38 kg/hora. Resultando, assim, num aumento da eficiência da mesa densimétrica e, conseqüentemente, num aumento do rendimento. Garantiu-se que a mistura de matéria-prima a ser usada era a mesma, podendo ocorrer oscilações devido à qualidade de cada tipo de matéria-prima, tal como no caudal do consumo. Não se verificaram grandes oscilações nas massas volúmicas dos granulados 3 a 7 mm e 0,5 a 1 mm, por isso, deduziu-se que houve uma estabilização na matéria-prima a ser consumida. Inicialmente, houve necessidade de mexer nas travessas da mesa densimétrica, mas depois tentou-se garantir que as massas volúmicas do granulado de 1 a 2 mm, se encontravam iguais às massas volúmicas antes do início do teste.

De forma a perceber se esta seria a inclinação mais desejada, realizou-se outro teste, baixando a inclinação longitudinal para $2,36^\circ$. Ao contrário do que se pensava, verificou-se um aumento no caudal do granulado nobre de, aproximadamente, 120 kg/h em doze horas. Contudo, ao analisar este fenómeno inesperado, notou-se que houve um incremento no consumo de matéria-prima e na massa volúmica deste granulado. Tal como é de esperar, um aumento de, aproximadamente, 1000 kg/h no caudal do consumo de matéria-prima, também originará um aumento no caudal dos granulados. As massas volúmicas deste granulado nobre passaram de $61,6 \text{ kg/m}^3$ para 66 kg/m^3 , isto é, um aumento de $4,4 \text{ kg/m}^3$ na massa volúmica corrigida. Logo, se as massas volúmicas se

encontram mais elevadas, significa que a saída das mesas densimétricas, desta classe de granulados, também se encontra mais aberta, provocando, assim, um aumento no caudal.

Aumentando de novo a inclinação longitudinal para $3,10^\circ$ e tentando manter constante as variáveis que influenciam esta operação, verificou-se novamente um aumento do caudal de produção do granulado nobre de 1 a 2 mm em, aproximadamente, 33 kg/h com uma massa volúmica equivalente à calculada antes da realização deste teste.

Ao se aumentarem as inclinações dos tampos das mesas densimétricas, verificou-se um aumento na produção do granulado nobre de 1 a 2 mm, contudo os resultados obtidos não são totalmente conclusivos. Tal como foi referido neste subcapítulo, as variáveis das propriedades da cortiça são demasiado instáveis e, com isso, é impossível determinar o aumento numérico na produção deste granulado nobre.

4.4 Análise ao granulado de 1 a 2 mm com massas volúmicas entre 100 e 120 kg/m³

Durante a análise ao processo de trituração foi possível notar que nas mesas densimétricas do granulado de 1 a 2 mm, havia grãos com tonalidades muito claras a saírem da mesa na secção de saída do granulado com massa volúmica de $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$. Isto é, parecia haver material ausente de quaisquer terras juntamente com este granulado. Este fenómeno pode-se dever, por exemplo, ao excesso de caudal na mesa ou à falta de entrada de ar no tampo da mesa. Os grãos mais pesados podem arrastar os grãos mais leves e estes, em vez, de saírem da mesa na sua respetiva secção de saída, são levados para o topo da mesma. Tal como foi referido no subcapítulo 0, nenhuma cortiça é igual à outra, originando dificuldades em estabelecer-se as condições ideais de uma mesa para que esta tenha a sua máxima eficiência.

Tendo em conta que este acontecimento apenas era verificado a olho nu, sem quaisquer certezas, optou-se pela realização de um teste, de modo a averiguar esta questão. Para tal, foi desviado um *Big Bag* com granulado com $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ para a tolva de alimentação do reprocessamento, com o intuito de se realizar um teste que avaliasse esta observação. O *Big Bag* tinha 279 kg deste granulado com uma massa volúmica corrigida de $110,4 \text{ kg/m}^3$. O teste realizado para a análise destes granulados, foi igual ao teste para analisar as terras à saída do peneiro vibratório. Isto é, foi colocado o granulado na tolva de alimentação do reprocessamento e foram feitos ajustamentos nas posições das travessas da mesa densimétrica, de modo a manter as massas volúmicas pretendidas. Na Tabela 4.7 é possível observar as massas volúmicas e respetivas humidades e na Tabela 4.8 as quantidades retiradas de cada classe de granulado de 1 a 2 mm.

Tabela 4.7: Massas volúmicas e humidades do granulado 1/2 obtidas durante a análise ao granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$

	Classe de granulados		
	$60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$	$110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$	$205 \pm 45 \text{ kg/m}^3$
MVA [kg/m^3]	70,7	110,9	157,3
Humidade	7,48%	9,54%	10,27%
MVC [kg/m^3]	71,0	109,2	153,8

Tabela 4.8: Quantidade de granulado 1/2 obtida durante a análise ao granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$

Tipos de granulados obtidos	Quantidade [kg]	Quantidade [%]	Quantidade [kg/Dia]
$110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ (início)	279	100 %	2820
71 kg/m^3	20,7	7,4 %	209
$109,2 \text{ kg/m}^3$	227	81,4 %	2295
$153,8 \text{ kg/m}^3$	20	7,2 %	202
Terras	9	3,2 %	91
Total Final	276,7	99,2 %	2797
Perdas	2,3	0,8 %	23

Através da Tabela 4.7 é possível notar que o granulado com menor densidade não se encontra dentro dos parâmetros da empresa ($60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$). Contudo, através da Tabela 4.8 observa-se que, diariamente, apenas seriam acrescentados 209 kg deste granulado ao granulado com $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$. Analisando o historial da trituração da Amorim & Irmãos no ano de 2017, foi possível concluir que para uma produção diária de 2820 kg de granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$, produzem-se pelo menos 5000 kg de granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$. Ao juntar o granulado com 71 kg/m^3 ao granulado com $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ passar-se-ia a produzir 5209 kg de granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ por dia. Estes 209 kg representam uma percentagem de, aproximadamente, 4%.

Adicionando esta quantidade de granulado 71 kg/m^3 ao granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$, significa que este não pode ultrapassar o valor de $61,6 \text{ kg/m}^3$ de massa volúmica corrigida, por forma a não ultrapassar os 62 kg/m^3 da especificação.

Analisando o histórico mensal das massas volúmicas corrigidas do granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$, tais valores nunca foram atingidos. Os operadores da trituração tentam que o granulado se mantenha entre os 59 e 61 kg/m^3 de massa volúmica, de modo a garantir que as especificações da empresa nunca sejam desrespeitadas. Ou seja, com estes 209 kg/dia a mais no granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$, pouco seria afetada a massa volúmica especificada, contribuindo deste modo para um aumento no rendimento.

Uma situação semelhante ocorre com o granulado $205 \pm 45 \text{ kg/m}^3$ retirado do granulado analisado ($110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$). A partir dos valores das tabelas Tabela 4.7 e Tabela 4.8, conclui-se que ao juntar

a quantidade de granulado $205 \pm 45 \text{ kg/m}^3$ ao granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$, obter-se-ia uma massa volúmica ponderada de $112,8 \text{ kg/m}^3$.

Como será retirado o granulado 71 kg/m^3 para o granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$, seria de esperar que uma parte do granulado analisado seria demasiado pesado para ser classificado como granulado de alta densidade. Isto é, uma parte deste granulado considerar-se-ia granulado $205 \pm 45 \text{ kg/m}^3$, devido à sua elevada massa volúmica. Como referido nos parágrafos anteriores, conclui-se que caso não se separe os grãos pesados do granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$, a sua massa volúmica continua dentro das especificações da empresa. Com isto, os valores das massas volúmicas na Tabela 4.7 e as quantidades na Tabela 4.8 terão de ser substituídos pelos novos resultados calculados.

Na seguinte tabela são indicadas as quantidades corrigidas da Tabela 4.8 e a possível repercussão económica ao final do ano.

Tabela 4.9: Quantidades e valores anuais para 2017 baseados no teste realizado ao granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ e à produção de granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ no ano 2017

	Quantidade [kg]	Quantidade [%]	Quantidade [kg/Dia]	Quantidade [kg/Ano]	Preço [€/kg]	Valor [€/Ano]
71 kg/m^3	20,7	7,4%	209	66534	3,20 € ¹¹	212.908 €
110 \pm 10 kg/m^3	247	88,5%	2497	793906	0,90 € ¹¹	714.515 €
Terras	9	3,2%	91	28928	—	—
Total Final	276,7	99,2%	2797	889367	—	927.423 €
110 \pm 10 kg/m^3 (início)	279	100,0%	2820	896760	0,90 € ¹¹	807.084 €
Perdas	2,3	0,8%	23	7393	—	—

807.084 euros representam o valor aproximado do granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ ao final do ano, caso não se retirassem os grãos mais leves deste granulado para o granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ (situação corrente). Enquanto que os 927.423 euros representam o valor, aproximado, se fossem retirados os grãos mais leves do granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ para o granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$. Esta diferença representa um valor anual de 120.339 €/ano.

Com este teste concluiu-se que é possível aproveitar 7,4 % do granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ para a produção de rolhas aglomeradas.

Estes cálculos de valores não deixam de ser extrapolações, sem resultados concretos. Como tal, optou-se por analisar a produção de granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ do ano 2016. Contudo nesse ano o setor da trituração apenas trabalhava em dias úteis, 23 horas/dia, sendo que no ano de 2017, prevê-se trabalhar 318 dias. A diferença é que no ano de 2016 só se encontrava em funcionamento durante

os cinco dias úteis da semana e no ano de 2017 a trituração encontra-se em regime de funcionamento de 7 dias por semana. Ou seja, em 2017 apenas não se trabalha aos feriados e férias. Em 2016 trabalharam-se 272 dias e produziu-se 945.577 kg de granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$, logo em 2017 prevê-se que se produzirá 1.105.491 kg.

Na Tabela 4.10 estão apresentadas as quantidades e valores económicos anuais previstos para 2017, baseados nas produções do ano 2016.

Tabela 4.10: Quantidades e valores anuais para 2017 baseados no teste realizado ao granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ e à produção de granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ no ano 2016

Tipo de Granulado	Quantidade [%]	Quantidade [kg/ano]	Lucro [€/kg]	Lucro [€/Ano]
$110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ (início)	100,0%	1105491	0,90 €	994.942 €
71 kg/m^3	7,4%	82020	3,20 €	262.465 €
$110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$	88,5%	978696	0,90 €	880.827 €
Total	95,9%	1060716	—	1.143.291 €

994.942 euros representam o valor aproximado do granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ ao final do ano, caso não se retirassem os grãos mais leves deste granulado para o granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ (situação corrente). Enquanto que 1.143.291 euros representam o valor, aproximado, se fossem retirados os grãos mais leves do granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ para o granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$. Esta diferença representa um valor anual de 148.350 €/ano.

Dado que não se conhece ainda a produção total de granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ no ano 2017, não é possível determinar, concretamente, o aumento da repercussão económica anual. Contudo, pode-se supor que este aumento encontrar-se-ia, mais ou menos, entre 120.000 e 150.000 euros.

4.5 Análise aos filtros de despoeiramento do granulado

Como foi explicado no subcapítulo 3.3, o granulado entra tangencialmente à câmara do ciclone e no seu centro encontra-se uma tubagem que aspira o pó do granulado. Uma das questões que se coloca é se a velocidade do ar de aspiração é demasiado elevada, que também acaba por transportar algum granulado com ele, ou será que a velocidade tangencial é suficientemente elevada para não deixar o granulado cair na vertical, mas sim em espiral. Como todos os granulados são diferentes uns dos outros, não é possível calcular a velocidade de aspiração do ar, que apenas transporte o pó para os filtros. Para tal é necessário a realização de alguns testes que demonstrem a presença de granulados neste transporte.

Durante o processo de trituração, foi possível tirar algumas amostras de pó de forma a analisar o que era realmente transportado juntamente com o pó. Foram realizados quatro testes, com o intuito de verificar esta possibilidade, cujos resultados se encontram apresentados na seguinte tabela.

Tabela 4.11: Teste ao filtro responsável pelo despoeiramento do granulado

		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
Granulado superior a 0,5 mm	Quantidade [g]	0,9	1,3	0,4	1,1
	Quantidade [%]	0,15%	0,22%	0,07%	0,18%
Pó	Quantidade [g]	584,5	601,2	562,7	594,2
	Quantidade [%]	99,85%	99,78%	99,93%	99,82%
Total da amostra	Quantidade [g]	585,4	602,5	563,1	595,3

Concluiu-se que a quantidade de granulado aspirado era quase nula. Isto significa, que se pode considerar que tanto a velocidade de aspiração como a velocidade tangencial se encontram bem definidas e não existe necessidade de alterações.

4.6 Análise às redes dos *rotexes*

Durante a análise às mesas densimétricas do granulado de 3 a 5 mm, observou-se que a mesa densimétrica que recebia o granulado proveniente do *rotex 2* se encontrava demasiado cheia. Isto deve-se ao excesso de caudal de entrada na mesa, o que origina uma má escolha da mesa. Notou-se que havia grãos ausentes de costa que eram transportados para a secção superior da mesa, ou seja, encontravam-se na zona dos pesados. E também se verificaram grãos com costa a sair da mesa na secção dos grãos leves. A montante dos *rotexes*, foram analisados os seguintes fatores que poderiam melhorar a escolha da mesa densimétrica:

- Os crivos dos moinhos, responsáveis pela segunda fase de trituração, não poderiam ser alterados, pois perder-se-ia produção de granulado nobre de 1 a 2 mm, que é o granulado mais valioso da trituração.
- Como o motor do moinho K800 não tem variador de frequência não é possível diminuir a velocidade do seu rotor, dado que a frequência é diretamente proporcional à velocidade de rotação.
- O motor do moinho K600 tem variador de frequência, contudo este moinho atinge picos de intensidade de corrente muito próximos do suportado pelo motor. Por isso, esta variável não deve ser alterada, pois pode comprometer o bom funcionamento do motor elétrico.

As redes dos *rotexes* com furos entre 3,37 e 5,37 mm foram analisadas, de forma a perceber se a alteração seria significativa ou não. Uma das opções seria aumentar a dimensão dos furos da rede inferior, de modo a diminuir a quantidade de granulado a entrar na mesa densimétrica. O problema é que ao aumentar esta rede, iria uma maior quantidade de granulado para retriturar e poderia ter um impacto negativo no rendimento. Iria uma maior quantidade de material para retriturar, pois o material entre 2,38 e 3,37 mm é enviado para o moinho MIM. Se o material passar mais vezes pelos moinhos, vai ser cortado mais vezes, originando pó que não é contabilizado. Assim, vai diminuir o rendimento do processo.

Devido ao excesso de material presente nas mesas densimétricas de 3 a 5 mm, as suas travessas encontram-se mais fechadas do que o normal. Caso as mesas não se encontrassem no seu nível de capacidade máximo, estas conseguiriam escolher melhor e as suas travessas poderiam estar mais abertas, deixando passar mais material na secção de saída dos granulados mais leves. Todo o granulado que sai da mesa na secção de saída dos pesados é enviado para o moinho MIM. Dado que, as travessas se encontram mais fechadas, existe uma maior quantidade de granulado a ser transportado para este moinho, que o transformará em granulado de 0,5 a 2 mm. A substituição da malha dos *rotexes* com aberturas maiores do que 3,37 mm, irá aumentar o caudal de entrada no moinho MIM, contudo as mesas conseguirão realizar uma separação mais eficiente. Esta sugestão de implementação, originará uma maior variedade de material a entrar nas mesas densimétricas de 0,5 a 1 mm e 1 a 2 mm e, consequentemente, uma maior quantidade de grãos mais leves. Com isto, poderá ocorrer um maior aproveitamento destas mesas e um aumento no caudal dos granulados nobres.

Como já foi referido anteriormente, a mesa densimétrica separa os grãos por peso e, como é de prever, um grão com maiores dimensões será mais pesado do que um grão com menores dimensões. Ao substituir as redes, a gama de dimensões dos grãos presentes na mesa irá diminuir. Grãos com maiores dimensões, porém com as mesmas densidades de grãos mais pequenos, poderão não ser classificados como pesados e originando uma maior eficiência da mesa. Embora, seja aumentada a gama de dimensões do material enviado diretamente para o moinho MIM, as dimensões destes grãos são inferiores às dos grãos que antes eram classificados como pesados pela mesa densimétrica. Um grão com menores dimensões ao entrar no moinho MIM vai ser cortado menos vezes. Dado que, o crivo do moinho MIM tem furos de 3 mm, ao receber um grão maior, este vai sofrer demasiados cortes até atingir a dimensão necessária para conseguir sair do moinho. Um grão com dimensões inferiores vai sofrer menos cortes do que o referido anteriormente e, consequentemente, a formação de uma menor quantidade de pó.

Para além destes fatores, observou-se que a granulometria do granulado de 3 a 7 mm encontrava-se demasiado baixa, estando, por vezes, fora de especificação. Com base em todas estas

considerações optou-se por trocar as redes de 3,37 mm para 4,03 mm em ambos os *rotexes*. Esta troca seria apenas temporária, de modo a testar a hipótese em estudo. Na Tabela 4.12 são apresentadas as granulometrias do granulado nobre de 3 a 7 mm ($70 \pm 2 \text{ kg/m}^3$) antes e após a alteração das redes dos *rotexes*. Nesta tabela é possível observar os limites de quantidade presente em cada peneiro, estabelecidos pela empresa. Na Tabela 4.13 são apresentados os rendimentos dos granulados nobres antes e após a alteração destas redes.

Tabela 4.12: Granulometria do granulado nobre 3 a 7 mm antes e após a alteração das redes dos *rotexes*

Dimensão Peneiros [mm]	Antes da mudança das redes dos <i>rotexes</i>		Limites da quantidade retirada em cada peneiro ¹²		Após a mudança das redes dos <i>rotexes</i>	
	Quantidade retirada em cada peneiro				Quantidade retirada em cada peneiro	
	Peso [g]	Porcentagem	Limite mínimo [%]	Limite máximo [%]	Peso [g]	Porcentagem
8	0,83	0,83 %	0 %	0 %	1,51	1,51 %
6,7	6,35	6,37 %	5 %	9 %	6,91	6,91 %
5,6	16,28	16,32 %	13 %	23 %	18,93	18,94 %
4,75	18,52	18,57 %	15 %	35 %	23,32	23,33 %
4	23,29	23,35 %	15 %	35 %	30,21	30,22 %
3,35	20,17	20,22 %	10 %	30 %	15,02	15,03 %
2,8	10,89	10,92 %	0 %	10 %	3,4	3,40 %
2	3,16	3,17 %	0 %	2 %	0,54	0,54 %
Abaixo	0,24	0,24 %	0 %	0 %	0,12	0,12 %

Tabela 4.13: Rendimento dos granulados nobres antes e após a alteração das redes dos *rotexes*

	Rendimento granulado 3 a 7 mm ¹³	Rendimento granulado 1 a 2 mm ¹³	Rendimento granulado 0,5 a 1 mm ¹³	Rendimento Total
Antes da alteração às redes dos <i>rotexes</i>	27,24 %	15,41 %	2,70 %	45,35 %
Após da alteração às redes dos <i>rotexes</i>	26,67 %	17,06 %	3,27 %	47,00 %
Variação do Rendimento	-0,57 %	1,65 %	0,57 %	1,65 %

¹² Limites mínimo e máximo de quantidade (em porcentagem) de granulado presente em cada peneiro, estabelecidos pela empresa

¹³ Granulados nobres

Observando a Tabela 4.12, é possível concluir que houve um aumento no tamanho dos grãos no granulado de 3 a 7 mm. Tal como se previa, através dessa tabela demonstrou-se que substituindo a rede inferior por uma rede com aberturas de maiores dimensões, a granulometria deste granulado iria aumentar.

Uma das preocupações em mudar as redes dos *rotexes* era a eventual perda de produção do granulado de 3 a 7 mm, pois ir-se-ia tirar uma parte deste para retriturar. Uma das grandes dificuldades em aumentar o consumo de matéria-prima é a capacidade da mesa densimétrica que recebe o granulado 3 a 5 mm do *rotex* 2. Ao substituir as redes dos *rotexes*, foi possível aumentar o caudal de consumo e, conseqüentemente, o caudal de produção de granulado. Através da Tabela 4.14, é possível observar e compreender melhor este fenómeno.

Tabela 4.14: Caudais do consumo da matéria-prima e da produção dos granulados nobres e rendimentos antes e após a alteração das redes nos *rotexes*

		Consumo matéria- prima [kg/h]	Granulado 3 a 7 mm ¹³		Granulado 1 a 2 mm ¹³		Granulado 0,5 a 1 mm ¹³		Rendimento Total
			Produção [kg/h]	Rendimento	Produção [kg/h]	Rendimento	Produção [kg/h]	Rendimento	
Antes da alteração	01-05-2017	2288	559	24,44%	350	15,29%	50	2,17%	41,90%
	02-05-2017	2044	560	27,42%	328	16,03%	50	2,47%	45,91%
	03-05-2017	2353	681	28,93%	258	10,97%	45	1,92%	41,81%
	04-05-2017	2330	821	35,24%	217	9,32%	45	1,95%	46,50%
	05-05-2017	2094	673	32,15%	256	12,22%	50	2,39%	46,76%
	06-05-2017	2478	671	27,08%	437	17,66%	97	3,93%	48,66%
	07-05-2017	2365	679	28,69%	498	21,06%	101	4,25%	54,00%
	08-05-2017	2390	631	26,39%	466	19,50%	69	2,87%	48,75%
	09-05-2017	2867	655	22,83%	464	16,17%	62	2,17%	41,17%
	10-05-2017	2867	553	19,27%	455	15,86%	83	2,88%	38,01%
	Média	2408	648	27,24%	373	15,41%	65	2,70%	45,35%
Após a alteração	12-05-2017	2508	643	25,64%	514	20,51%	99	3,94%	50,10%
	13-05-2017	2495	666	26,70%	502	20,11%	96	3,86%	50,67%
	14-05-2017	2498	681	27,27%	491	19,66%	87	3,50%	50,42%
	15-05-2017	2116	715	33,78%	484	22,90%	84	3,96%	60,64%
	16-05-2017	2660	712	26,77%	494	18,57%	94	3,54%	48,89%
	17-05-2017	2934	753	25,66%	400	13,63%	82	2,80%	42,10%
	18-05-2017	3061	874	28,56%	368	12,02%	79	2,58%	43,16%
	19-05-2017	3038	819	26,94%	386	12,69%	90	2,97%	42,61%
	20-05-2017	3190	753	23,60%	491	15,38%	82	2,56%	41,54%
	21-05-2017	3487	758	21,74%	528	15,14%	106	3,04%	39,93%
	Média	2799	737	26,67%	466	17,06%	90	3,28%	47,00%

Como foi possível aumentar, consideravelmente, o caudal de consumo da matéria-prima, também se verificou um aumento no caudal da produção dos granulados. Houve um declínio na produção de grãos mais finos do granulado 3 a 7 mm, contudo houve um aumento na produção de grãos de maiores dimensões. Embora o caudal de produção deste granulado tenha aumentado, através da Tabela 4.13, nota-se que o seu rendimento diminuiu. Isto quer dizer que a proporção entre o aumento da produção e o aumento do consumo da matéria-prima é inferior à proporção existente antes desta mudança. Apesar desta descida do rendimento deste granulado, observou-se um

aumento do rendimento dos granulados nobres de 0,5 a 1 e de 1 a 2 mm. Com isto, conclui-se que, no final, existe claramente um aumento no rendimento total de, aproximadamente, 1,65 %.

5

Sugestões de melhorias

No capítulo 4, foram identificadas várias situações no processo de trituração passíveis de um estudo mais aprofundado para avaliação da sua influência na melhoria do rendimento do processo produtivo de granulados de cortiça. Neste capítulo, serão apresentadas algumas soluções possíveis para as situações analisadas e que contribuem para a melhoria do processo.

5.1 Melhoria para a tolva de alimentação dos *rotexes*

Como foi referido no subcapítulo 4.1, um dos problemas encontrados foi a discrepância dos caudais de entrada nos *rotexes* 1 e 2. Esta circunstância é evidenciada através da observação dos caudais de entrada significativamente diferenciados nas mesas densimétricas. Como tal foram analisadas as seguintes soluções.

5.1.1 Bifurcação das tubagens

Uma solução imaginada encontra-se representada na Figura 5.1, onde ambas as tubagens de entrada na tolva de alimentação dos *rotexes* seriam divididas em duas, de forma a repartir o granulado por ambas os transportadores de parafuso sem-fim. Na seguinte imagem é possível compreender melhor este conceito.

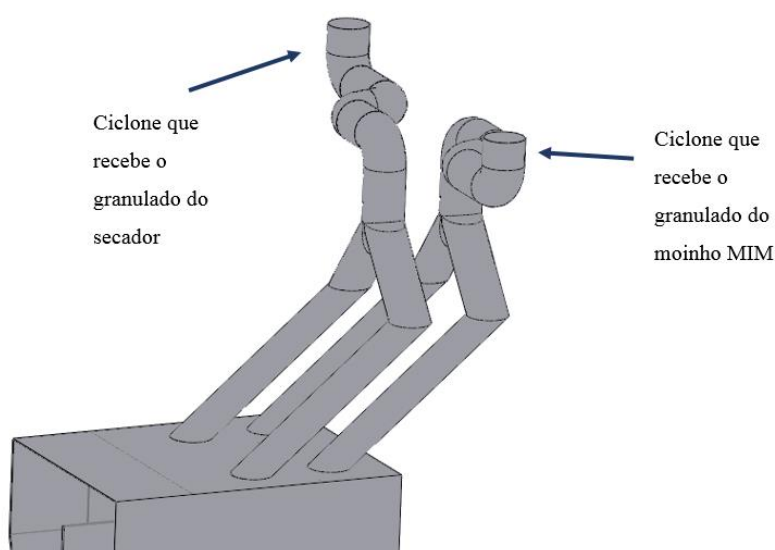


Figura 5.1: Bifurcação das tubagens de entrada na tolva de alimentação dos *rotexes*

Tendo em conta que o espaço entre a parte superior da tolva de alimentação e do teto da plataforma é demasiado curto, esta possível melhoria poderia trazer alguns problemas para a trituração. Caso não se subisse o teto da plataforma e, consequentemente, os ciclones que alimentam esta tolva, a inclinação das tubagens seria demasiado reduzida. O granulado para entrar na tolva, cai por gravidade, ou seja, não existe um sistema pneumático que empurre/puxe o material para dentro da tolva. Por isso, ângulos muito reduzidos nas tubagens implicariam entupimentos nesta secção.

A subida do teto da plataforma originaria um aumento no nível ciclones e algumas alterações nas tubagens que os alimentam. Como é possível deduzir, esta alteração envolveria elevadíssimos custos e, portanto, é necessário analisar outras hipóteses que reduzam os custos de instalação ou possíveis entupimentos no processo da trituração.

5.1.2 Implementação de uma moega (tremonha)

Esta melhoria consiste num pequeno desvio das tubagens que se encontram entre os ciclones e a tolva de alimentação dos *rotexes* e a instalação de uma tubagem afunilada. Tal como é possível observar na Figura 5.2, acima da tolva, existe uma tubagem vertical (perpendicular à superfície superior da tolva), onde se unem as duas tubagens provenientes dos ciclones. Como esta tubagem vertical, ao longo do seu comprimento, terá uma redução no seu raio, os diferentes granulados ao entrarem em contacto com as paredes irão ressaltar e, consequentemente, misturarem-se. À saída a tubagem é vertical, de modo a tentar garantir que a mistura cai na vertical para a secção da tolva onde se encontram as roscas transportadoras. Dado que as roscas transportam o granulado para sítios opostos, esta tubagem deve-se encontrar no centro da tolva. Assim, consegue-se garantir que ambas as roscas transportadoras, transportam o mesmo tipo e quantidade de granulado.

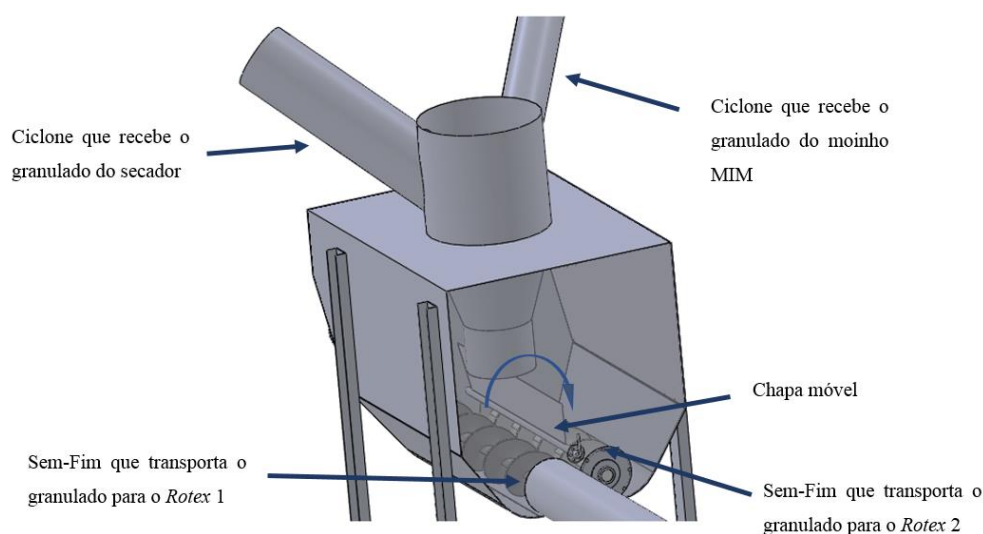


Figura 5.2: Esquema da tolva de alimentação dos *rotexes* com a moega instalada

Neste caso, apenas é necessário a alteração de duas tubagens de pequena distância, o corte da chapa móvel que se encontra no interior da tolva e a instalação de uma moega. Relativamente, à melhoria apresentada no subcapítulo 5.1.1, esta solução envolve menores custos e aparenta ser uma solução mais eficiente.

5.2 Melhoria para o aproveitamento das terras à saída do peneiro vibratório

No subcapítulo 4.2 foi evidenciado que as terras à saída do peneiro podem aumentar o rendimento da trituração. Neste subcapítulo serão apresentadas algumas possíveis melhorias, de modo a rentabilizar ao máximo esse aproveitamento das terras.

Uma das primeiras opções seria, apenas, a implementação de uma mesa densimétrica à saída do peneiro vibratório. Uma mesa com dimensões inferiores às restantes mesas, dado que o caudal de entrada não justificaria uma mesa tão volumosa como as usadas no processo. Esta mesa conseguiria escolher uma parte das terras (granulado a aproveitar) que seria enviada de novo para o processo e outra parte que seria enviada para a caldeira. Contudo, observou-se que cerca de 20 % destas terras têm uma granulometria inferior a 0,5 mm e que a empresa as classifica como pó ou perdas. Estas terras com baixas dimensões dificultariam bastante a escolha na mesa densimétrica, pois o fluxo de ar que entrava no tampo da mesa encontrava-se demasiado baixo. Tentou-se aumentar o caudal de ar, mas como as terras inferiores a 0,5 mm eram tão leves, começaram a saltar da mesa. Esta entrada, teria que ser suficientemente elevada, de modo a conseguir-se uma separação eficiente, mas suficientemente baixa, de forma a não originar a excessiva flutuação das terras com baixas dimensões. Este equilíbrio verificou-se que era impossível de realizar e concluiu-se que esta não seria a solução mais prática para a empresa.

Para além do fenómeno referido anteriormente, verificou-se que o excesso de material com estas dimensões é prejudicial para o processo, pois provoca inúmeros entupimentos nos equipamentos existentes no setor. Para os resolver, é necessário interromper a produção, até desentupir, por completo, as tubagens. Estas paragens originam quebras na produção e, consequentemente, no rendimento também. Por isso, é necessário analisar outra solução que, em vez de prejudicar o processo, o beneficie.

Tal como era previsto, após a implementação da mesa densimétrica ocorreram alguns entupimentos nas tubagens, que resultou em paragens do processo. De modo a diminuir este impacto, foi instalada uma plataforma na mesa densimétrica com uma malha metálica com aberturas de 0,5 mm. Por baixo da plataforma, passariam as terras com dimensões inferiores a 0,5 mm e por cima desta

plataforma as restantes. Este conceito é melhor entendido através da Figura 5.3, onde se encontra apresentada esta plataforma.



Figura 5.3: Mesa densimétrica das terras com uma plataforma composta por uma malha metálica

Um dos problemas encontrados com a implementação desta plataforma, foi a má eficiência da separação por densidades das terras com dimensões superiores a 0,5 mm. Na Figura 5.4 é possível compreender a razão pela qual a sua eficiência é muito baixa. O fluxo de ar tende a passar pelas zonas que lhe oferecem menor resistência. Como existem zonas que não oferecem resistência a este fluxo, o ar tende a passar por estas áreas, em vez de incidir sobre a superfície inferior da plataforma. Uma vez que, as terras com dimensões superiores a 0,5 mm não sofrem qualquer impacto do fluxo de ar, provenientes do tampo da mesa densimétrica, estas não conseguem ser devidamente separadas. As terras mais leves tendem a subir a mesa com as terras mais pesadas, pois não existe ar que as faça cair para a secção inferior da mesa (secção onde sairiam as terras mais leves).

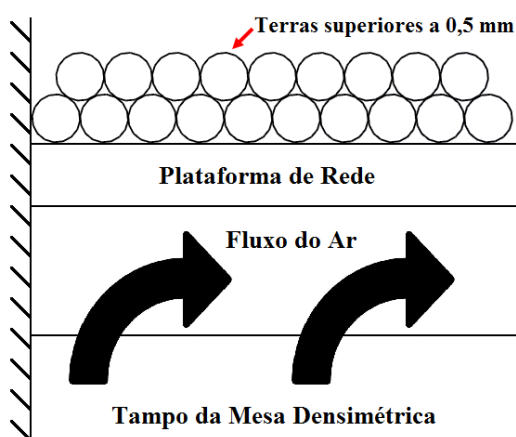


Figura 5.4: Demonstração do fluxo de ar na mesa densimétrica das terras com a implementação da plataforma

Devido a esta ineficiência, optou-se por rejeitar a solução que envolvesse a implementação de uma plataforma com uma malha metálica.

Por fim, concluiu-se que a melhor opção seria a instalação de uma nova malha metálica de 0,5 mm no peneiro vibratório. Ou seja, o peneiro vibratório passaria a conter três malhas metálicas e todas as terras que fossem inferiores a 0,5 mm seriam diretamente enviadas para a caldeira, de forma a evitar a ocorrência de entupimentos e melhorar a escolha da mesa. Enquanto que as terras entre 0,5 e 1,5 mm iriam para uma mesa densimétrica de modo a possibilitar a sua análise. Uma vez que, a mesa densimétrica, apenas passará a conter material entre 0,5 e 1,5 mm, a escolha é mais eficiente. Como foi enunciado anteriormente, um dos fatores que dificultava a escolha da mesa era o baixo fluxo de entrada de ar. Não havendo, terras com dimensões tão baixas, haverá uma melhor escolha por parte da mesa. Com esta solução proposta, ocorrerá um menor número de entupimentos nos equipamentos e tubagens e, portanto, um aumento na eficiência da separação densimétrica.

Embora se perceba que esta solução era a melhor a ser implementada, seria a melhoria que envolveria maiores custos e, por isso, foram testadas as outras opções (referidas anteriormente) de modo a diminuir os custos à empresa. Para esta melhoria é imprescindível acrescentar uma nova malha metálica ao peneiro vibratório, construir um maior número de desvios das tubagens e acrescentar uma nova saída neste equipamento. Para a construção desta nova saída é necessário substituir uma das saídas do peneiro e acrescentar uma nova. Como é possível perceber, esta solução, claramente, envolve mais custos de instalação do que as anteriormente mencionadas. Embora possuísse as maiores probabilidades de sucesso, foi por esta razão que se optou pela tentativa de implementação das outras soluções apresentadas previamente.

5.3 Eficiência das mesas densimétricas do granulado de 1 a 2 mm

No subcapítulo 0 foi explicada a dificuldade em encontrar o ponto ótimo das variáveis possíveis de controlar numa mesa densimétrica. Como foi referido, a cortiça é um produto natural, originando matérias-primas com propriedades diferentes umas das outras.

A única possibilidade de descobrir este ponto ótimo começaria pela fixação de algumas variáveis na cortiça. Inicialmente, garantir-se-ia que as propriedades da matéria-prima seriam minimamente constantes. Após esta fase triturar-se-ia esta matéria-prima e à entrada da mesa densimétrica seriam colocados alguns *Big Bag's* de forma a apanhar todo o material que entraria na mesa. Após a recolha de, por exemplo, cinco *Big Bag's* interrompe-se o consumo de matéria-prima e aguarda-se até se acabar todo o granulado presente no circuito. Após garantir-se tudo o que foi referido anteriormente, colocam-se os *Big Bag's* na tolva de alimentação do reprocessamento e dá-se início ao teste pretendido. É necessário a realização de pelo menos 81 testes, pois existem 4 variáveis¹⁴ e pretende-se que cada variável esteja num valor relativamente elevado, num valor médio e num

¹⁴ Inclinações vertical e horizontal, frequência de vibração e fluxo de entrada de ar no tampo da mesa densimétrica

valor relativamente baixo. Estes 81 testes resultariam de todas as combinações possíveis entre as 4 (3^4) variáveis existentes. É essencial, mexer nas travessas da mesa até se verificarem as massas volúmicas desejadas, deixar o material estabilizar na mesa e, por fim, determinar os caudais de saída.

Como é possível compreender com o que foi mencionado previamente, é um teste que requer muito tempo de paragem da trituração, o que impossibilita a sua realização. Outro fator crucial que influenciaria este teste é a possibilidade de ocorrerem perdas durante o teste. Durante o processo, existem grãos que vão diminuindo a sua dimensão e criando pó. Este fenómeno não se dá somente nos moinhos, podendo dar-se também durante a escolha nos *rotexes* ou no transporte nas tubagens, por exemplo. Durante o teste ao granulado de 1 a 2 mm com massa volúmica de 110 kg/m^3 notou-se que 0,8 % do granulado a testar foi dado como perdas. Por isso, muito provavelmente, durante este teste a quantidade de granulado à entrada não seria o mesmo à saída.

Este teste poderia ser conclusivo se a mistura da matéria-prima fosse sempre igual. Por vezes, a trituração recebe mais refugo do que broca, originando um consumo de matéria-prima com maior quantidade de refugo do que broca. Este fenómeno pode acontecer inúmeras vezes e é impossível de controlar. Se no mercado não houver broca para comprar, há necessidade de compensar essa perda, comprando uma maior porção de refugo. Logo, mesmo que com este teste fosse possível concluir o ponto ótimo das 4 variáveis existentes, seria apenas para uma determinada mistura de matéria-prima. Caso essa mistura fosse alterada, esse ponto ótimo poderia estar completamente errado.

Devido a todos estes fatores referidos e explicados anteriormente, não é possível realizar um teste que determine o ajustamento ideal da mesa. Este ponto ótimo é mais fácil de encontrar quando não se presenciam tantas variáveis. Como neste caso é impensável controlar estes fatores, não se consegue determinar o estado ideal, de máxima eficiência, das mesas densimétricas.

5.4 Reaproveitamento de granulados nobres de 1 a 2 mm presentes no granulado com massas volúmicas entre 100 e 120 kg/m^3

Tal como foi concluído no subcapítulo 4.4, uma parte do granulado de alta densidade de 1 a 2 mm pode ser aproveitado como granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$, aumentando, assim, o rendimento global da trituração. Conforme calculado, o aumento da produção do granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ estará compreendido entre 66.534 kg e 82.020 kg. Estes valores, poderão ser obtidos com, apenas, a instalação de uma mesa densimétrica para processar o granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ que sai das mesas densimétricas 6 e 7 (mesas responsáveis pelo processamento do granulado 1 a 2 mm).

Analizou-se o ano de 2016, de forma a perceber as quantidades produzidas de granulado 1 a 2 mm, com o intuito de saber a percentagem de granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ face à produção dos restantes granulados. Na Tabela 5.1, é possível observar que do granulado 1 a 2 mm produzido no ano de 2016, cerca de 36,91 % foi de produção de granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$. As terras não se encontram nesta tabela, pois não é possível calcular a produção de terras que saíram destas mesas.

Tabela 5.1: Quantidades produzidas de cada classe de granulado 1 a 2 mm no ano de 2016

	Classe de granulados			TOTAL
	$60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$	$110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$	$205 \pm 45 \text{ kg/m}^3$	
Quantidade [kg]	1355035	945577	261330	2561942
Quantidade [%]	52,89	36,91	10,20	100,00

Assim, deduz-se que não há necessidade de implementar mais do que uma mesa densimétrica. É imprescindível a instalação das tubagens que enviem o granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ das duas mesas do granulado de 1 a 2 mm para a nova mesa densimétrica.

5.5 Melhoria aos filtros de despoeiramento do granulado

No subcapítulo 4.5 concluiu-se que a percentagem de granulado aspirado para a caldeira era praticamente nula, por isso, nenhuma melhoria será tomada. Contudo, caso haja conveniência de testar a possibilidade de o granulado ser transportado juntamente com o pó para a caldeira, apenas é necessário retirar amostras do pó, diariamente. Antes do pó ser enviado para a caldeira, este passa por uma determinada quantidade de filtros de despoeiramento, que contém uma eclusa¹⁵ à sua saída. Como os filtros não se encontram constantemente cheios e, de forma, a poupar energia elétrica, a válvula rotativa está programada para começar a trabalhar durante um determinado tempo. Dado que, o transportador de entrada nos filtros não é o mesmo à sua saída, é possível desligar apenas um dos transportadores (indicado na Figura 5.5). De modo a realizar-se este teste, programa-se a eclusa para demorar mais tempo a ser acionada e desliga-se o transportador à saída dos filtros. Assim, o pó irá cair e não será transportado. Desta forma, é possível recolher a porção desejada de pó e testá-la.

Todo o pó retirado da amostra é colocado dentro dos peneiros responsáveis pela análise laboratorial à granulometria do material (peneiros referidos no subcapítulo 3.10.2.2). É pesada a quantidade existente abaixo de 0,5 mm e a quantidade acima deste valor. Todo o material abaixo de 0,5 mm é

¹⁵ Válvula rotativa.

considerado pó e o material acima deste valor é considerado granulado. Assim, obtém-se a percentagem de granulado existente no pó.

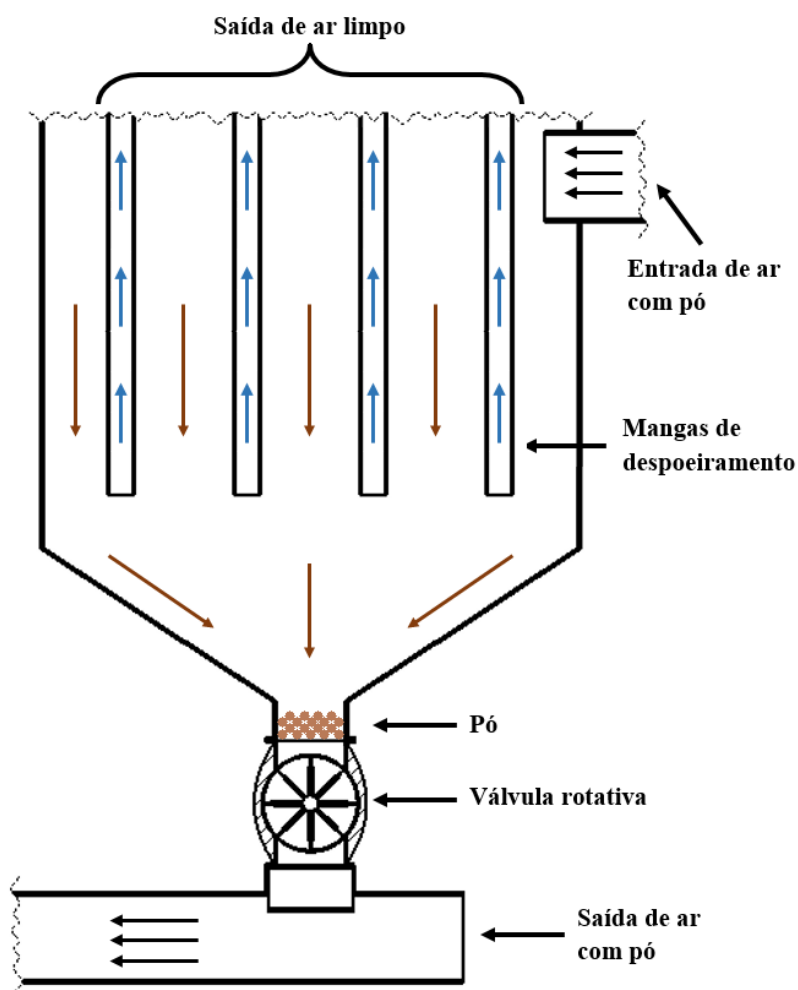


Figura 5.5: Esquema dos filtros de despoeiramento

Caso se verifique que existe granulado a ser transportado para a caldeira, o primeiro passo é diminuir o caudal de aspiração nos ciclones e observar o impacto que tem. Deve-se retirar nova amostra e observar a existência de granulado no pó e realizar testes de granulometria a todos os granulados, de modo a determinar a percentagem de pó existente nos mesmos. Comparar os resultados precedentes à realização deste teste e os posteriores ao teste. Se por eventualidade, a porção de granulado no pó diminuir para os valores requeridos e não se verificar um grande aumento da quantidade de pó nos granulados, então pode-se concluir que o teste foi bem-sucedido. Se o pó continuar a transportar demasiado granulado, então é crucial a diminuição no caudal de aspiração, até se verificar um aumento crítico na quantidade de pó no granulado.

Se porventura, ao diminuir o caudal de aspiração se continuar a verificar uma elevada percentagem de granulado no pó e ocorrer um aumento considerável da porção de pó no granulado, então é

imprescindível uma análise mais aprofundada ao assunto. Existem equipamentos no mercado com maior eficiência de separação do pó do granulado. Ter-se-ia que investigar aqueles equipamentos com uma maior capacidade de caudal e capazes de realizar a separação de forma eficiente.

5.6 Substituição das redes dos *rotexes*

Tal como foi avaliado no subcapítulo 4.6, verificou-se uma queda no rendimento da produção do granulado nobre de 3 a 7 mm e um aumento no rendimento das produções dos restantes granulados nobres, o que levaria a concluir que a mudança das redes dos *rotexes* de 3,37 mm para 4,03 mm seria uma boa opção.

Ao analisar mais pormenorizadamente, notou-se que no mês de Julho houve um aumento no rendimento e na produção do granulado de 3 a 7 mm (redes dos *rotexes* com aberturas de 3,37 mm). Através da Tabela 5.2 é possível observar a média dos caudais e dos rendimentos do mês de Julho.

Analisando a Tabela 5.2 é possível concluir que embora se verifique uma redução no caudal de consumo da matéria-prima e dos granulados nobres 0,5 a 1 mm e 1 a 2 mm, existe um elevado aumento no caudal e no rendimento do granulado de 3 a 7 mm. No mês de Julho, o caudal de consumo da matéria-prima não é maior, pois a mesa densimétrica que recebe o granulado 3 a 5 mm do *rotex* 2 encontrava-se demasiado cheia. Observou-se que as restantes mesas se encontravam mais cheias do que nos outros meses, contudo ainda se mantinham abaixo do seu limite de capacidade.

Tabela 5.2: Comparação de caudais e rendimentos com a troca das redes e do mês de Julho

	Consumo da matéria-prima [kg/h]	Granulado nobre 3 a 7 mm		Granulado nobre 1 a 2 mm		Granulado nobre 0,5 a 1 mm	
		Produção [kg/h]	Rendimento	Produção [kg/h]	Rendimento	Produção [kg/h]	Rendimento
Média com redes 4,03 mm	2799	737	26,67%	466	17,06%	90	3,28%
Média Julho (redes 3,37 mm)	2631	924	35,52%	422	16,33%	68	2,61%

Ainda não se concluiu que um aumento no caudal de consumo da matéria-prima origina uma queda no rendimento da trituração, por isso, tem-se como objetivo aumentar este caudal até se começar a verificar este fenómeno. De modo a poder aumentar o caudal do consumo da trituração e manter ou aumentar o rendimento, a proposta de melhoria, neste caso, seria a troca da rede de 3,37 mm por uma de 4,03 mm somente no segundo *rotex*. Dado que a mesa densimétrica que se encontra no seu

limite de capacidade é a mesa que recebe o granulado de 3 a 5 mm do *rotex* 2, a melhor opção seria a substituição desta rede, apenas neste *rotex*. Desta forma, poder-se-ia aumentar o caudal de consumo e, conseqüentemente, a produção dos granulados nobres, sem sofrer um impacto significativo na produção do granulado nobre de 3 a 7 mm.

A solução referida anteriormente revela-se a melhor opção, pelo menos, numa fase inicial de teste, pois não terá um impacto tão elevado na produção do granulado de 3 a 7 mm. Caso não haja a necessidade de aumentar o consumo da matéria-prima, pode-se verificar um aumento no rendimento. A mesa encontrar-se-á ligeiramente mais vazia e, portanto, com uma maior capacidade de escolha. Se se verificar que esta rede tem um impacto demasiado elevado na produção deste granulado, de modo a não terminar o teste, pode-se substituir por uma rede com aberturas ligeiramente mais pequenas. No Grupo Amorim existem malhas metálicas com aberturas de 3,63 mm e a sua implementação seria algo a ponderar. Como, neste momento, esta mesa densimétrica é um dos equipamentos que limita o aumento do consumo de matéria-prima, a instalação desta rede, seria uma provável melhoria. Caso estas alterações influenciassem negativamente os rendimentos apenas era necessário tempo para reinstalar as redes antigas num *rotex*. Ou seja, os custos associados apenas seriam devido à falta de produção da trituração durante a fase de instalação, pois os materiais necessários para a realização destes testes já se encontram em *stock* nos armazéns da empresa.

6

Conclusões e trabalhos futuros

Durante os seis meses de análise ao processo da trituração foi possível perceber a dificuldade em realizar algumas melhorias no processo. Engenheiros com muita experiência já estudaram bastante este processo de forma a melhorá-lo, contudo devido à grande complexidade torna-se complicado analisar todos os fatores que influenciam este processo.

Como foi referido nos capítulos 4 e 5, a validação de algumas hipóteses analisadas foi uma das maiores dificuldades encontradas. O facto de a cortiça ser um produto natural e encontrarem-se grandes variações nas suas propriedades, dificulta a realização de alguns testes. Tal como foi mencionado no subcapítulo 0, por vezes entre as recolhas de amostras do granulado nobre de 3 a 7 mm existem variações de mais ou menos 3 kg/m^3 , sendo que estas recolhas fazem-se em intervalos de uma hora. Sem ocorrerem alterações na mistura da matéria-prima consumida e sem se modificar quaisquer variáveis nos equipamentos, estes fenómenos acontecem. Estas variações acabam por influenciar/prejudicar todos os eventuais testes planeados e análises realizadas ao processo.

Na Tabela 6.1 encontram-se descritos todos os fatores analisados, os testes realizados, as conclusões obtidas após a análise aos testes realizados e hipóteses de melhorias. Nos parágrafos seguintes apenas serão referidos os fatores mais relevantes. Isto é, os fatores cujas conclusões são significantes e cujas propostas de melhoria deverão ser implementadas.

Na Tabela 6.1 a coluna relativa a trabalhos futuros constitui o legado deste trabalho. Estas ações decorreram de observação, interpretação, análise e experimentação realizadas pelo autor durante seis meses de permanência na Unidade Industrial De Sousa. A decisão sobre a implementação das ações sugeridas caberá aos responsáveis da empresa.

No subcapítulo 4.1 foi explicada a diferença dos caudais de entrada existentes nas mesas densimétricas, devido à baixa eficácia da tolva de alimentação dos *rotexes*, tendo sido no subcapítulo 5.1, apresentada, uma possível solução para a resolução deste problema. Caso esta melhoria se verifique, é necessário comparar as produções e rendimentos antes e depois desta alteração. Também, é essencial observar os caudais de entrada nas mesas densimétricas e concluir se esta melhoria originou uma queda na saturação de granulado nas mesas.

Tabela 6.1: Fatores analisados no processo de trituração

Parte do processo	Evidências	Testes efetuados	Conclusões	Trabalhos Futuros
1. Tolva de alimentação dos <i>rotexes</i>	Caudais de entrada diferentes entre os <i>rotexes</i>	_____	_____	Implementação de uma moega no interior da tolva, de modo a aproximar os caudais de entrada nos <i>rotexes</i>
2. Terras à saída do peneiro vibratório	Granulado de cor clara encontrado juntamente com as terras que saem do peneiro vibratório	Análise à granulometria	Percentagem considerável de granulados com dimensões inferiores a 0,5 mm	Implementação de uma malha metálica nova com aberturas de 0,5 mm no peneiro vibratório e de uma nova mesa densimétrica à sua saída
		Tipos de granulados e respectivas quantidades	Reaproveitamento de diferentes classes de granulados	
			Aumento da produção anual de granulado no valor de 31.640 kg	
3. Mesas densimétricas do granulado 1 a 2 mm	Granulados de cor clara a serem transportados com os granulados pesados	Variação das inclinações	Variáveis da cortiça demasiado instáveis, impossibilitando, assim, uma análise conclusiva	_____
4. Análise ao granulado de 1 a 2 mm com massas volúmicas entre 100 e 120 kg/m ³	Granulado de cor clara encontrado juntamente com o granulado com tonalidades mais escuras	Tipos de granulados presentes no granulado com massa volúmica de 110 ± 10 kg/m ³	Granulado nobre presente no granulado pesado	Implementação de uma mesa densimétrica, de forma a reanalisar o granulado de 1 a 2 mm com massa volúmica de 110 ± 10 kg/m ³
			Aumento do rendimento, aproximadamente, no valor de 0,58 %	
5. Filtros de despoeiramento do granulado	Possibilidade de haver granulado a ser enviado para a caldeira juntamente com o pó	Quantidade de granulado presente no pó	Inexistência de granulado presente no pó	Retirar amostras diárias, de forma a analisar a existência de granulado presente no pó
6. Redes dos <i>rotexes</i>	Mesa densimétrica que recebe o granulado de 3 a 5 mm do <i>rotex</i> 2 demasiado cheia	Substituição das redes dos <i>rotexes</i> de 3,37 para 4,03 e análise da produção de granulados vs rendimento	Aumento do consumo da matéria-prima e da produção de granulados nobres	Substituição da rede do <i>rotex</i> 2 com aberturas de 3,37 para 4,03 mm
			Queda do rendimento do granulado nobre de 3 a 7 mm, contudo aumento do rendimento dos granulados nobres de 0,5 a 1 e de 1 a 2 mm	
			Aumento do rendimento total no valor de 1,65 %	

No subcapítulo 4.2 demonstrou-se que as terras à saída do peneiro vibratório continham uma determinada quantidade de granulado. Tendo os testes realizados comprovado uma existência de 27,9 % de granulado nestas terras. Porém existem terras com dimensões inferiores a 0,5 mm, estas

saem da mesa densimétrica na saída dos materiais mais leves. Embora existam grãos de boa qualidade, ou seja, com baixas massas volúmicas, estes têm dimensões muito superiores a 0,5 mm e acabam por ser mais pesados do que os outros. Assim, são levados para a secção de saída dos granulados com pesos medianos e, posteriormente, enviados para a caldeira. Nesta mesa, apenas os granulados mais leves são reenviados para o circuito, de modo a evitar um elevado aumento de terras a reentrar no processo. Caso, se enviassem os granulados com pesos medianos, poderiam ocorrer mais entupimentos e sujidade nos filtros do secador.

O autor sugere a implementação da solução apresentada no final do subcapítulo 5.2. Com esta melhoria, a eficiência de separação da mesa densimétrica será superior e poder-se-á retirar uma maior quantidade de granulados. Caso seja implementada esta solução, o modo de realização do teste deveria ser igual ou semelhante ao teste referido no subcapítulo 4.2.3, onde são retiradas as quantidades de cada classe de granulado e as respetivas massas volúmicas. Por fim, analisam-se os resultados obtidos, extrapolando os valores por forma a serem possíveis comparações.

Através da realização de um teste, no subcapítulo 4.4, mostrou-se a existência de granulado nobre pesado de 1 a 2 mm no granulado com $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$. Embora este granulado de 71 kg/m^3 retirado do granulado de $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ possua uma massa volúmica superior à exigida pela empresa, esta, praticamente, não influenciará a massa volúmica do granulado de $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ produzido diariamente. Dado que, o seu impacto na massa volúmica é muito baixo, a instalação de uma mesa densimétrica conduzirá a um aumento da produção deste granulado. Com esta implementação o setor da trituração poderá ter um aumento na produção de granulado de $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ de, aproximadamente, 82020 quilogramas. Sabendo que no ano passado foram consumidos 14.221.870 quilogramas de matéria-prima e que se tiraria cerca de 82020 quilogramas de granulado $60 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ do granulado $110 \pm 10 \text{ kg/m}^3$, isso resultaria num aumento do rendimento de 0,58 %. Com isto, é possível concluir que a instalação de uma mesa densimétrica traria receitas para a empresa.

Tal como foi mencionado no subcapítulo 5.6, a substituição da malha metálica com aberturas de 3,37 mm por uma de 4,03 mm no *rotex 2* poderia trazer vantagens para a trituração. Como a mesa densimétrica que recebe o granulado 3 a 5 mm do *rotex 2* se encontra, na maioria do tempo, no seu limite de capacidade, esta substituição tornar-se-ia vantajosa. A mesa conseguiria separar melhor o material, pois este encontrar-se-ia mais distribuído pelo seu tampo e a quantidade de grãos finos presentes neste granulado também diminuiria. Caso, se verificasse uma queda na produção do granulado nobre de 3 a 7 mm, a sua substituição por uma rede com aberturas de 3,63 mm seria o próximo teste. Dado que, no grupo Amorim existem em *stock* malhas metálicas com aberturas de 3,63 mm e 4,03 mm a realização destes testes não envolveria grandes custos. Os custos apenas estariam associados ao tempo de paragem para a troca das redes e a possível perda deste granulado.


Com esta rede, o impacto na queda da produção deste granulado não seria tão grande e poder-se-ia verificar uma diminuição na quantidade de material existente nesta mesa densimétrica.

Foram analisados variados fatores que influenciam o processo e que podem ser melhorados. Uns terão mais impacto do que outros, tanto na produtividade como nos rendimentos. Existiram dificuldades durante a fase de análise, contudo algumas dessas dificuldades conseguiram ser ultrapassadas com sucesso. Futuramente, muitos testes poderão ser feitos e melhorias também, contudo, tal como foi referido nos capítulos 4 e 5, é crucial conseguir fixar algumas variáveis de forma a obterem-se os resultados mais próximos da realidade. Estes possíveis testes deverão ser realizados do mesmo modo que foram realizados a maioria destes testes (durante o processo de produção). A execução de testes durante a fase de produção, embora seja mais complicada e complexa de realizar, origina uma maior aproximação dos resultados obtidos aos valores reais.

Referências Bibliográficas

- [1] Corticeira Amorim [Consultado a 09 de Fevereiro de 2017]
Disponível em:
<http://www.amorim.com/a-cortica/o-que-e/>
- [2] Montero, I.; Miranda, T.; Sepúlveda, F.J.; Arranz, J.I.; Nogales, S. (2014). “Analysis of Pelletizing of Granulometric Separation Powder from Cork Industries”, *Materials*, 7(9), pp 6686-6700.
- [3] Corticeira Amorim [Consultado a 09 de Fevereiro de 2017]
Disponível em:
<http://www.amorim.com/a-cortica/caracteristicas/>
- [4] Amorim Cork Ventures [Consultado a 09 de Fevereiro de 2017]
Disponível em:
<http://www.amorimcorkventures.com/pt/cortica/>
- [5] Gil, L. (1998). “Cortiça (Produção, Tecnologia e Aplicação)”, INETI, pp 192.
- [6] Haig, C.W., Hursthouse, A., McIlwain, S., & Sykes, D. (2014). The effect of particle agglomeration and attrition on the separation efficiency of a Stairmand cyclone, *Powder Technol*, 258, pp 110–124
- [7] Rotex Global [Consultado a 09 de Agosto de 2017]
Disponível em:
<http://www.rotex.com/rotex.html>
- [8] Dodbiba, G., & Fujita, T. (2015). Air Tabling—A Dry Gravity Solid–Solid Separation Technique. In *Progress in Filtration and Separation*, pp. 527-555.
- [9] Mine-Engineer.Com [Consultado a 10 de Agosto de 2017]
Disponível em:
<http://mine-engineer.com/mining/minproc/air-table.html>
- [10] Perta, Lda [Consultado a 24 de Agosto de 2017]
Disponível em:
<http://www.perta.pt/produtos/agitador-electromagnetico-para-peneiros-de-200-e-300-m/>

Anexos



Reprinted from

CHEMICAL ENGINEERING

April 2001

www.che.com

Feature Report

Dry Screening of Granular Solids

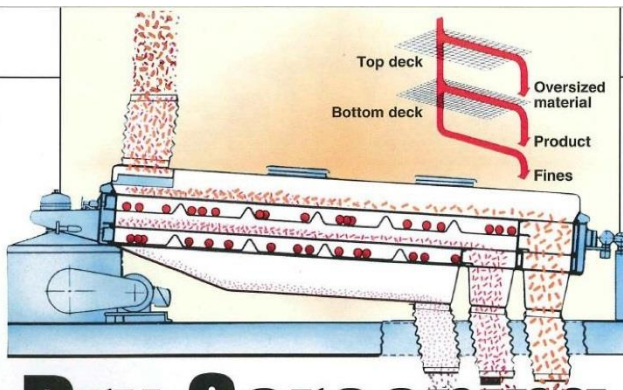
ROTEX INC.

A Publication of Chemical Week Associates

Feature Report

FIGURE 1. This screening machine separates oversized materials and fine particles from the product stream

Particle-size separation is affected by many factors, including material characteristics and screen selection



Dry Screening of Granular Solids

A.J. DeCenso
Rotex, Inc.

Screening is a widely used mechanical process for separating granular materials according to individual particle sizes. When a particular motion is imparted to a screening medium (usually wire mesh or a perforated plate), particles smaller than the screen openings pass through, while those larger than the openings are retained by the screening medium (Figure 1).

There are three basic types of screening operations: scalping, fines removal and grading. Scalping is used to separate materials that are considerably larger than the average particle size — such as the removal of large lumps from fine fertilizer during manufacturing. Scalping operations usually separate a small amount — 5% or less — of the overall product volume.

Fines removal is the opposite of scalping; in this technique, a small percentage (typically 10% or less) of material that is considerably smaller than the average particle size is removed. An example is the removal of dust from laundry detergent.

Grading is used to make size separations of a material on single or multiple screen surfaces into one or more grades, each having distinct particle-size limits. An example is the separation of abrasives into different grit sizes for use on various grades of sandpaper.

Screening machines are available in an array of sizes, shapes, and types of motion (Figure 2). However, most

screening machines use either vibratory or gyratory motion.

Vibratory motion is characterized by a short stroke and high frequency. It is commonly used for coarse separations and for screening applications where a high degree of separation accuracy is not required.

For finer separations, or when separation accuracy is a priority, gyratory motion is preferred due to its longer stroke and slower speed. Other types of screen motion, such as those for drum screens or centrifugal screens, are used for specialized applications, and will not be considered here.

FACTORS AFFECTING PERFORMANCE

Material characteristics

Screening performance is affected by many factors, but the most significant ones are material characteristics. Key material characteristics include particle-size distribution, particle shape, bulk density, flowability, friability, surface moisture, and static charge.

Particle-size distribution is the most important material characteristic impacting screening performance. Since it is not practical to measure the size of each particle in a given load of material, the material's overall particle-size distribution is characterized by taking a small, representative sample and determining the weight of the particles that fall into standardized size ranges (Figure 3). This is most

commonly accomplished by sieve analysis (Box, p. 3).

Particle shape also affects screening performance. Depending on the process used to produce the material, particles can be granular, spherical, cylindrical and so on. Regular particle shapes, such as spherical and granular, tend to produce relatively sharp separations. However, screening of irregular shapes (such as elongated, sliver-like or plate-like) can lead to inaccurate separations. Such variability results from how the particles present themselves to the screen opening.

Certain particle shapes can also increase the likelihood of screen blinding, in which particles slightly larger than the screen opening become caught in the openings, effectively plugging them. In particular, certain types of crystalline and spherical particles are prone to blinding.

In general, the higher a material's bulk density, the higher the screening capacities that can be achieved. Gravity is the driving force in screening operations, so the higher mass of denser materials results in gravity applying a higher screening force to those particles. For instance, heavy materials, such as metal powders, can be screened for particle separation quite readily, even through fine screens. By contrast, lightweight materials such as sawdust will have lower gravity forces associated with them, so they are not separated by screening as readily and can only be

Reprinted from **CHEMICAL ENGINEERING**, April 2000, copyright 2000 by Chemical Week Associates, L.L.C. with all rights reserved.
Additional reprints may be ordered by calling Chemical Engineering Reprint Department (212) 621-4633. To subscribe to Chemical Engineering, call Toll-Free 877-Chem Eng.

SIEVE ANALYSIS

In sieve analysis, standardized test sieves with precisely controlled screen apertures are arranged in a stack from coarsest to finest, with a collection pan below the bottom sieve. The material to be analyzed is introduced into the top sieve, and the stack is exposed to a combination of motions that cause the material to stratify by particle size through the sieves.

After a predetermined period of time, the stack is disassembled, the weight of material retained on each sieve is measured, and the weight on each sieve is expressed as a percentage of the total. Table 1 shows the results of a typical sieve analysis. While mechanical sieve analysis is the most common method for characterizing particle size distribution, other measurement techniques, such as laser-diffraction and video-imaging systems, are available. □

TABLE 1. TYPICAL SIEVE ANALYSIS

U.S. Sieve No.	Opening, mm	Percent retained
6	3.35	4.8
16	1.18	18.8
30	0.60	26.3
60	0.25	28.1
100	0.15	11.3
Pan	—	10.7

screened at very low mass flowrates.

Similarly, the flowability of a material can affect screening performance. In materials that do not flow well, the particles will not spread out on the screen surface and present themselves properly to the screen openings.

Friability is also a concern because the screening action itself can cause particle degradation and a change in particle-size distribution. Surface moisture can also have a significant negative impact on screening performance. High levels of moisture can reduce screening accuracy by causing particle bridging, and by promoting particle agglomeration, thereby preventing the particles from passing through the screen openings. Similarly, a static charge may decrease screening performance, by causing the materials to bridge over the screen openings.

Screen selection

Most production screens are specified by at least two of the following four parameters: mesh count, wire diameter, opening, and percentage of open area (Box, p. 6). Mesh count is the number of openings (or wires) per lineal inch (Figure 4). Subtracting the wire diameter from the inverse of the mesh count gives the opening. The percentage of open area is the ratio of the area of the openings to the total

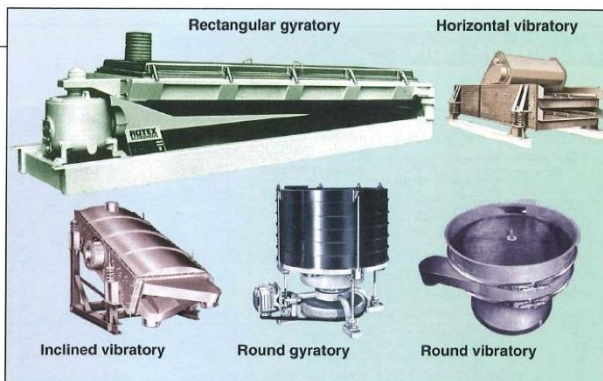


FIGURE 2. A variety of commonly used screening machines are shown above

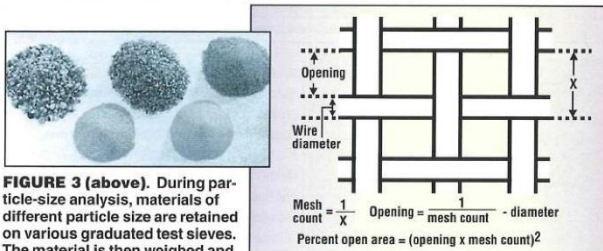


FIGURE 3 (above). During particle-size analysis, materials of different particle size are retained on various graduated test sieves. The material is then weighed and the percentage of the total retained by each sieve is calculated

surface area of the screen.

Often, several commercial grades of screens are available with the same size opening. Thus, screen selection entails more than simply choosing a desired screen opening and wire material. In general, screens with a relatively heavy wire for a given opening will be the most durable. However, a screen with a lighter wire will tend to blind less and can generally handle more throughput since it has a greater percentage of open area.

While square-mesh screens are by far the most common, screens can also be woven with a rectangular opening. This can be particularly effective in increasing screen capacity or making separations based on particle length. Screen cloth can also be woven from several types of material.

Steel wire is most common, with Type 304 stainless steel being the standard for chemical applications. Screens may also be woven from synthetic material, such as nylon or polyester. The apertures in synthetic screens have a slightly different shape than those of steel-wire screens, and they are more flexible. As a result, in some applications, synthetic screens

are less prone to blinding. This is particularly the case when crystalline materials are involved.

An alternative to woven-screen mesh is to use a perforated steel plate. Similar to wire mesh with rectangular openings, these plates are particularly effective at making particle separations based on length; however, they tend to have a lower percentage of open area and a lower capacity for a given screen area, compared with a woven wire mesh.

Slope

To produce accurate separations, a near-horizontal screening surface is preferred over one that is steeply inclined. For one thing, gravity-induced flow on a steeply inclined screen may cause the material to travel too rapidly across the screening surface, thereby reducing screening accuracy.

Furthermore, a steeply inclined screening surface also presents two distinctly different openings to the material: the actual opening of the inclined screen, and the horizontal projection of the inclined opening (Figure 5). So, a screen with a 2.0-mm opening inclined at 40° will have an effective

Feature Report

TABLE 3. SCREENING MACHINE SELECTION GUIDE

TABLE 3. SCREENING MACHINE SELECTION GUIDE							
Screen motion			Vibratory	Vibratory	Vibratory	Gyratory	Gyratory
Screen shape			Round	Rectangular	Rectangular	Round	Rectangular
Screen slope			Horizontal	Inclined	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Applicability	Coarse (> 5mm)	Scalping	fair	good	good	good	good
		Grading	poor	fair	good	fair	good
		Fines removal	poor	fair	fair	fair	good
	Medium (0.5-5 mm)	Scalping	good	fair	good	good	good
		Grading	fair	poor	fair	fair	good
		Fines removal	poor	poor	fair	good	good
	Fine (< 0.5 mm)	Scalping	fair	poor	fair	good	good
		Grading	poor	poor	poor	fair	good
		Fines removal	poor	poor	poor	fair	good
Screening accuracy			low - med	low	medium	med - high	high
Screening capacity			low	high	medium	medium	high
Relative cost			low	medium	medium	high	high

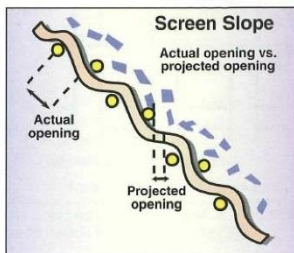


FIGURE 5. Inclining the screen presents two different openings to the material: the actual opening, and a horizontal projection of the opening. Inclined screens may sacrifice separation accuracy. By comparison, a nearly horizontal screen, together with a gentle, gyratory motion provides sharp, accurate particle-size separations

screen opening of 1.5 mm (2.0 mm multiplied by the cosine of 40°).

Vibrating screeners, in particular, which often do not have sufficient stroke to convey material across a horizontal screen surface, typically incline the screen steeply, so that gravity can be used to boost conveying rate. However, this steep slope often reduces the sharpness of the separation.

Consider, for example, the case mentioned above, whose screen has 2.0-mm openings. While most of the particles will be separated by the 1.5-mm projected opening, some of the particles, as a result of the random motion of the vibrating screen, will actually move perpendicular to the screen surface, and as they do, they will be exposed to — and pass through — the actual 2.0-mm screen opening. Thus, while the bulk of

the particles passing through the screen will be 1.5 mm dia., the final separated product will also contain particles as coarse as 2.0 mm dia.

Screen blinding

Screen blinding occurs when any obstruction reduces the open area of the screen surface. Blinding can result in inconsistent screening performance due to loss of screening capacity, screening accuracy, or production time.

Screen blinding often results from plugging or bridging (Figure 6). Plugging occurs when particles that are very close to the size of the screen openings become trapped there. Spherical particles and certain types of crystalline particles tend to be more prone to plugging than other particle shapes.

Bridging occurs when groups of undersize particles bind together to block screen openings. Particle bridging tends to occur when surface moisture or electrostatic charges are present. These often occur in materials that have been excessively dried, and those with extremely small particle sizes. Fibrous materials can also cause blinding when the fibers become wrapped around the screen wires.

In screening applications where blinding is a concern, preventive measures must be used. The most common method of preventing blinding is to use bouncing balls that are trapped in pockets below the screen surface. The motion of the screening machine causes the balls to bounce randomly within their pockets, effectively loosening any bound material and cleaning the screening media. Similarly, vibrat-

ing rings, compressed air, rotating brushes, and ultrasonic vibrations have also been used to control blinding.

SPECIFYING SCREENING PERFORMANCE

No single measure can be used to quantify screen performance; instead, screening machines must be evaluated on their ability to optimize product quality and maximize screening efficiency.

In any screening application, one or more of the flows produced by the screener is considered to be the product. A quality specification, imposed on this product, defines the acceptable particle-size distribution for the product. Often, this specification consists simply of set particle-size limits. For example, in a scalping application, the product-quality specification may be 0% +10 U.S. allowable. This means that when analyzed, a sample of material that passed through the screen should reveal no material coarser than a U.S. #10 test sieve. Similar specifications can also be applied to define acceptable results from a fines removal operation. For example, a fines specification of 3% maximum allowable -60 Tyler means that the analysis of a sample taken from the material that passed over the screen should contain no more than 3% by weight of material finer than a 60 Tyler test sieve.

Product quality

Limits and tolerances can also be applied to define product quality in grading applications. Certain industries have arrived at other particle-size

quality measurements to be applied to their products. For example, the fertilizer industry commonly uses SGN (size guide number) to define the desired median particle size and UI (uniformity index) to define the allowable variation from that median particle size. Regardless of the product specification, the key factor affecting product quality is the screen opening selected. So, if a screener is not producing adequate product quality, a screen with a different opening is normally required.

Screening efficiency

As important as it is, product quality is not the sole criterion for evaluating screening performance. The other measure of critical importance is screening efficiency. Screening efficiency (more specifically, product-recovery efficiency) is a ratio: the amount of on-size product separated out by the screener, divided by the amount of on-size material available in the feed to the screener. Screening efficiency determines the overall process yield, which, in turn, determines production rates. Yield is the amount of material separated as product, and is expressed as a percentage of the rate at which material is fed to the screener.

Screening efficiency determines production rates and overall system efficiencies. Clearly, the more efficiently a screener extracts on-size product from the feed material, the higher the production rate. Furthermore, for systems that include recycle loops, screening efficiency can have a compound effect on overall system performance. Often, the reject streams from the screener are recycled and reintroduced to the system.

In such cases, on-size material that was inefficiently rejected by the screener the first time will be needlessly reprocessed, resulting in higher energy costs and lower overall system efficiency. This is particularly important in systems that typically produce material with a broad particle-size range such that only a relatively small percentage of the material screened is actually on-size product. As a result, it is critical that the screening machine be as efficient as possible at extracting this on-size material.

While screen opening selection has

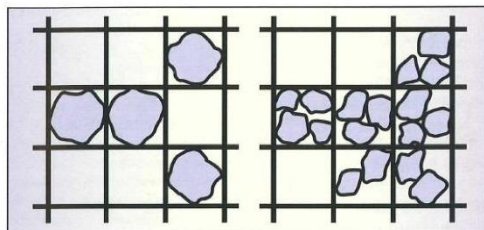


FIGURE 6. Accurate size separation may be compromised if screen blinding is allowed to occur, as a result of plugging (left) or bridging (right).

the greatest effect on product quality, screening machine motion has the greatest effect on screening efficiency. Certainly, screening efficiency can be increased by changing the size of the screen opening. For example, in a scalping operation, screening efficiency can be increased by using a screen opening larger than the desired separation point. However, this will have a negative impact on product quality, as the larger opening will permit oversize particles to pass through the screen and contaminate the product.

Using a larger screen opening in a fines-removal operation will allow on-size particles to pass through with the fines, thereby wasting product. By using a more-efficient screening motion instead of increasing the screen size, an appropriate screen opening can be used to ensure product quality without needlessly rejecting product to the waste streams.

SCREENER SELECTION

Capacity

A screening system's capacity is always specified in terms of the feed rate to the machine, rather than the product rate produced by the machine. Sometimes, capacity is given in terms of a screen loading; for example, 1,000 pph/ft². Note that this loading is specific to one application and type of screening machine.

Loadings vary considerably with application requirements, and screeners of different types can have very different loading capacities even when handling the same application. Continuing the example, a screener with 50 ft² of screen area would have a feedrate capacity of 50,000 lb/h (1,000 lb/h/ft² × 50 ft²). Similarly, applying this same loading to a system with a feedrate re-

quirement of 30,000 lb/h requires a screener with at least 30 ft² of screen area (30,000 lb/h ÷ 1,000 lb/h/ft²).

Drive system

The drive system is a key element in any screening machine. Most screeners use one of two types of systems: reaction drive or positive-displacement (crank) drive. Reaction drives are typically used in vibrating screeners, while positive-displacement drives are typically used for gyratory screeners.

Reaction drives are used on screeners where the screen box is mounted on springs or cables, which allow it to move freely in a cyclical motion. The drive consists of a rotating eccentric weight attached to the box. This intentionally out-of-balance system produces a motion in the screen box that is synchronous with the drive speed, and proportional to the ratio of the drive weight to the sprung weight of the screen box. The screen-box stroke can, therefore, be increased or decreased by adjusting the drive weight.

One drawback to reaction drives is that screener motion will tend to dampen when large amounts of material are added to the screen box. This may result in a significant loss of screening performance.

Positive-displacement, or crank, drives produce motion using an eccentric crank. In a positive-displacement screener, the screen box motion is fixed at the designed stroke, regardless of the material load. These drives often employ rotating weights, which are used for counterbalancing, rather than to produce motion.

Other selection criteria

Most screening machines are available in various materials of construction. While the structural compo-

Feature Report

nents can often be fabricated from relatively inexpensive carbon steel, the portions of the screener that come in contact with process materials must, of course, be compatible with that material. Type 304 stainless steel is the standard for most chemical applications.

In addition to material considerations, fabrication techniques — specifically, weld profile and finish — should be consistent with the material-handling and sanitation requirements of the system. The standard construction of most screening machines includes collection hoppers for the various screened products, with the hoppers fabricated by forming and welding of sheet metal.

In certain instances, it may be necessary to request that the hoppers be designed and fabricated so that all surfaces are smooth and resistant to material buildup. For instance, this is the case in screening food products, where eliminating particle entrapment and resultant bacterial growth is a key consideration. Another example is in the processing of compounded polymers, where cross-contamination from batch to batch of different compounds or colors must be prevented.

Cost factors

Two different costs must be considered when specifying a screening installation: the total installed cost, and the operating and maintenance costs. Total installed cost consists of more than just the purchase price of a screening machine; other cost factors should also be included.

For instance, building requirements can be significantly affected by the screening machine's configuration. A screener with a low profile reduces the headroom requirements, and reduces or eliminates the cost of conveying equipment required to elevate material to the feed point.

The type of drive system used to produce the screening action also affects the total installed cost. It is common for screening equipment to be located several floors above grade; for example, above a bin or silo. When installing a screening machine in such a tall structure it is important to be sure that the out-of-balance forces gener-

CHOOSING THE PROPER SCREEN MEDIUM

Not all screen media are created equal. Because selecting the proper screen medium has a significant impact on screening performance, it is important to specify a screen that is appropriate for the application.

Figure 7 shows two different wire screens, each with the same size opening. The wire screen on the left has a smaller wire diameter; consequently, it has a higher mesh count (number of openings per lineal inch) and a higher capacity, and is less prone to blinding.

By comparison, the screen on the right uses a heavier wire. While this makes the screen more durable, it also makes it more susceptible to blinding, and lower the screen's overall capacity due to its lower percentage of open area.

As the wire diameter increases for a given mesh count, the size of the openings and percentage of open area both decrease. Multiple wire diameters are typically available for a given mesh count, resulting in different available openings and screen characteristics. Table 2 shows the relationship between these parameters for five commercial grades of 10-mesh screen clothing, each with a different wire diameter.

It is important to avoid confusion between the sieve numbers used to identify test sieves and the mesh counts used to specify production screens. Note that none of the screens shown in Table 2 has the same openings as a Number 10 U.S. or a Number 10 Tyler test sieve. This is not necessarily a problem because in production screening, users typically employ a screen opening that is slightly larger than the desired nominal separation point.

TABLE 2. COMPARISON OF 10-MESH SCREENS

Mesh	Wire dia., mm	Opening, mm	Open area, %
10	0.51	2.03	64.0
10	0.64	1.91	56.3
10	0.71	1.83	51.8
10	0.81	1.73	46.2
10	0.89	1.65	42.3

Note: The Number 10 U.S. Sieve has an opening of 2.0 mm, and the Number 10 Tyler Sieve has an opening of 1.70 mm.

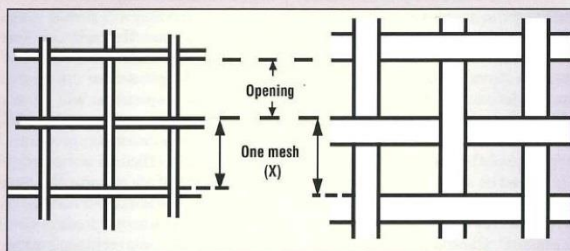


FIGURE 7. Shown here are two different wire screens, each with the same opening size but with different wire diameters and mesh counts

ated by the screener do not cause unwanted or even dangerous vibration in the structure.

A well-balanced machine minimizes the generation of such forces. If the drive system is fully counterbalanced, structural costs can be substantially reduced, since the building and adjacent equipment are not subjected to unmanageable out-of-balance forces.

Lateral forces generated by the screener can be practically eliminated if the machine is suspended from cables. In such an installation, the mass of the screener itself is used to absorb the lateral out-of-balance forces as the machine oscillates slightly on the cables.

However, cable suspension is practical only with machines that have effective counterbalancing. Cable suspension of a poorly balanced screening

machine results in loss of screening performance. The relatively high out-of-balance forces generated by the unbalanced machine will cause excessive swaying of the screener on the cables, and this motion subtracts from the motion of the screen itself.

Potential savings can be realized during the specification of machine capacity. For instance, if one large screener can handle the feed requirements, rather than two smaller units, valuable floor space is saved, the amount of conveying equipment to and from the equipment is minimized, and energy use is often reduced.

When all of these factors are considered together, the best screener for a particular application is not necessarily the unit with the lowest purchase price. Quite often, the auxiliary equip-

ment costs, and installation and building costs can drive the total installed cost of a less expensive screener higher than the total installed cost of a slightly more expensive model.

When specifying process screening equipment, operating and maintenance costs should also be considered. Cost factors include ease of disassembly, motor and drive characteristics, and screen replacement cost.

Every screener must be periodically disassembled for screen changes, cleaning, and other service. If the machine is equipped with easy access and disassembly features, it saves the operators time and allows the machine to get back into production faster.

The motor and drive are also important factors in the operating cost. Is the motor a standard design or a special design? How reliable is the drive, and how easily is it serviced? What is the availability of replacement parts? These questions should be considered

during equipment evaluation.

The cost of the screen medium and the time required to replace it should also be considered when evaluating operating costs. In general, standard square-opening screens are less expensive than those with rectangular openings. Screens with non-rigid edging are more economical than ones with special rims or hook strips. Screens that can easily be replaced without tools reduce downtime and increase production.

The proper selection of screening equipment must include a complete analysis of the application, the product quality requirements, the required capacity, and the relative cost. For example, a rectangular vibrating screener will typically cost less than a rectangular gyratory machine. However, because the vibrating screener may not spread the incoming material sufficiently, a separate, full-width vibrating feeder may be required. The

total cost for the vibrating feeder and screener could far exceed that of the gyratory screener. Table 3 compares the different types of screening equipment.

When evaluating operating costs, quite often the single most significant factor is screening efficiency. A more efficient screener will produce more product from a given feedrate, resulting in increased overall system efficiency and lower overall system operating costs. ■

Edited by Suzanne Shelley

3 ways ROTEX® accuracy increases your profits

The degree of accuracy you achieve in screening affects every phase of operations, all the way to the bottom line. The secret to ROTEX® Screener success is the ability to provide the necessary accuracy, or "sharpness" of separation, on a consistent basis AND at high production rates. Here are three important ways this can help you.

1. HIGHER YIELDS

Let's be specific about the term yield. Yield is the amount of material separated out as product through screening. By increasing screening accuracy, ROTEX helps you maximize the recovery of on-size product from the material being screened.

ROTEX achieves this high degree of accuracy through a unique gyratory screening motion, which effectively distributes feed material over the full screening surface, without violent agitation or hop. On-size particles readily pass through the screen as larger particles are gently conveyed to the discharge end. This results in less tailover of good product and consequently higher yields.

The horizontal gyratory motion used on ROTEX Screeners is known to provide the most efficient screening action at high production rates, combining consistent product quality with maximum product yield.



A 1% greater yield on ROTEX Screeners translates into 400 tons per year increased production in this food processing plant.

Think about it...what would it mean to your bottom line if you could increase your product output by just 1%, without any additional material or energy costs? Rotex can show you how!

2. CONSISTENT ON-SPEC QUALITY

ROTEX Screeners produce on-spec particle distribution in the finished product through highly efficient fines removal—even when incoming material fluctuates greatly in feed rate or fines level, conditions which commonly cause off-spec product in vibrating screeners and increase the chance of customer reject.

The ROTEX gyratory motion maintains quality because it stratifies the material and causes the fines to sift down and through the screen, rather than becoming airborne, tailing over and contaminating the good product. This ROTEX action provides extreme sharpness of separation without sacrificing yield, assuring consistent quality and profitability.

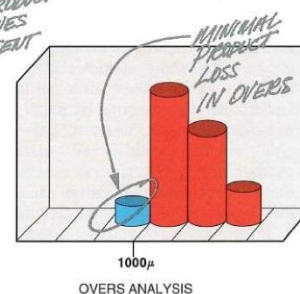
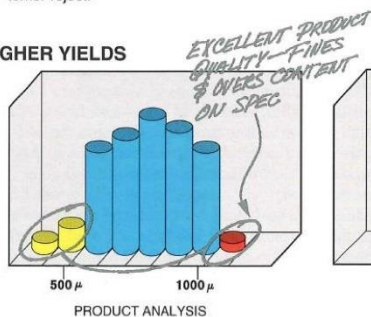
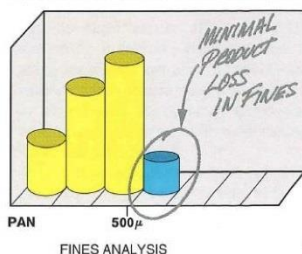
3. LESS REJECT OF GOOD MATERIAL

Accurate screening improves your profitability not just because of higher revenues, but also because of lower processing costs. When inefficient screening leaves excessive usable product in the rejects, consider the choices, all of them costly:

- Reprocess?—higher energy costs
- Substitute uses?—less profitable
- Discard?—total loss!

The only good alternative is to reduce rejects through more accurate screening. Whatever your application, ROTEX INC. gives you the advantage of over 80 years' experience plus a dedication to continuing product development and improvement. Call today and let us help you. For the name of your nearest Rotex Representative, call Toll-Free 1-800-453-2321 or fax 513-541-4888.

ROTEX ACCURACY RESULTS IN HIGHER YIELDS



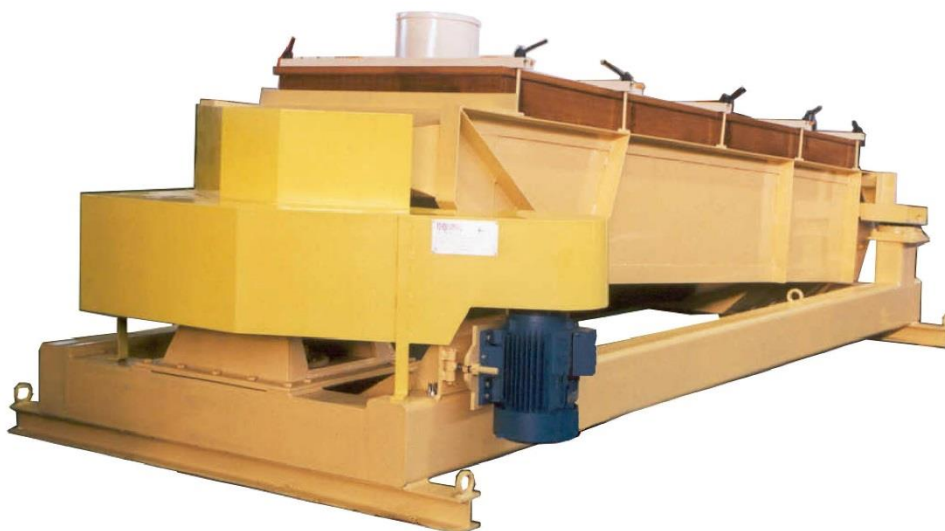
ROTEX INC., 1230 Knowlton St., Cincinnati, OH 45223-1845 USA
Phone: 513-541-1236 • Fax: 513-541-4888 • e-mail: info@rotex.com • www.rotex.com
In Europe, Middle East, Africa, Australia, contact Locker Process Solutions (UK)
Phone: 441-925-651212 • Fax: 441-925-636290

ROTEX INC.

TEQUIMAQ

Máquinas para a Indústria Química e Corticeira, Lda

SCC



Crivo Calibrador

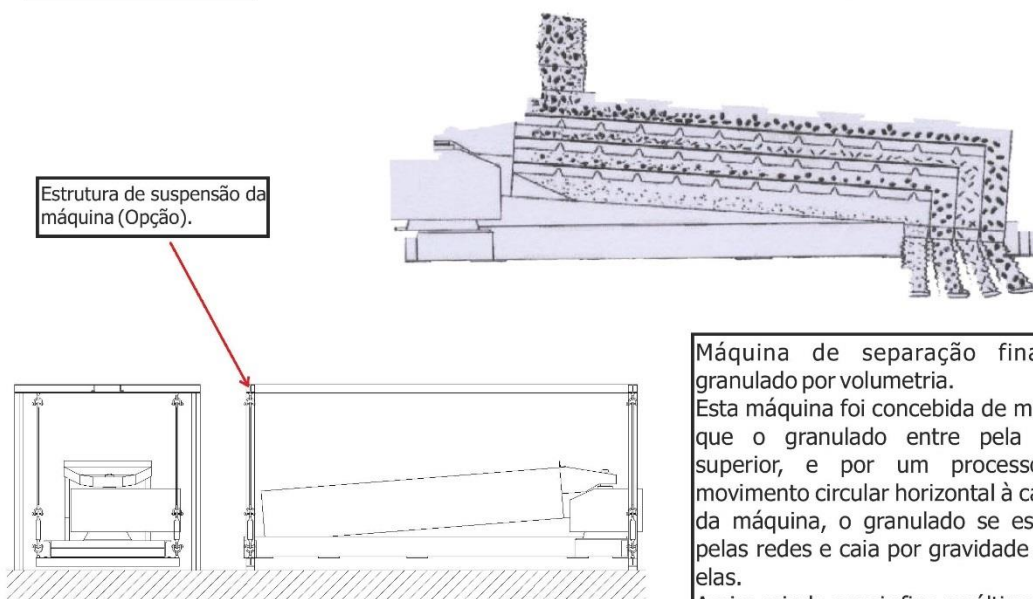
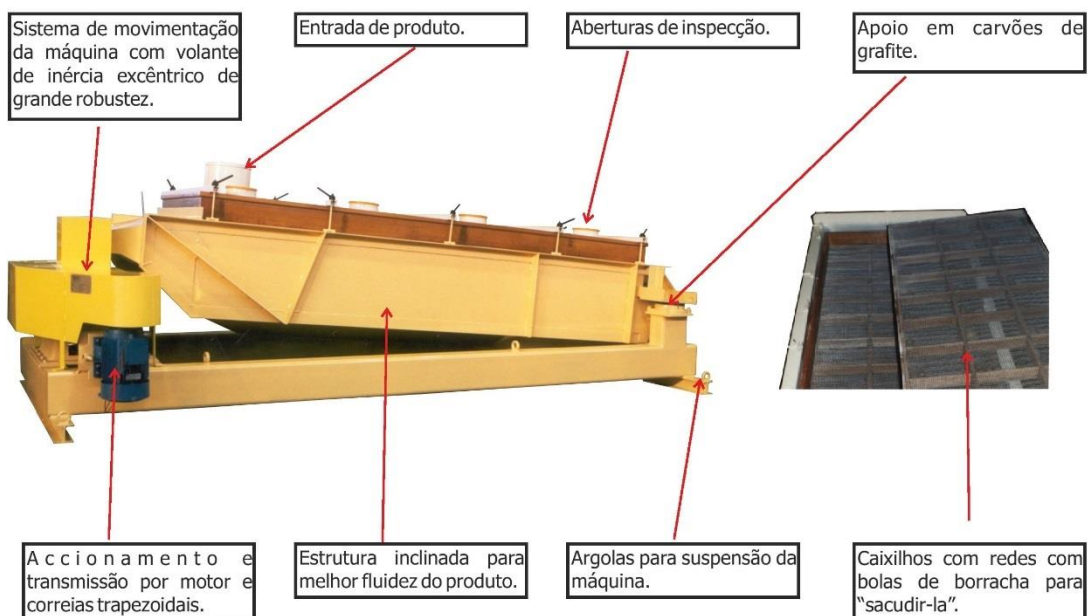
Modelo	Potência [cv]	Largura das redes [mm]	Comprimento das redes [mm]	Capacidade (Cortiça 3/7) [kg/h]	N.º de saídas
SCC 30	7,5	1000	3000	2000	5
SCC 25	7,5	1000	2500	1500	5
SCC 20	5,5	1000	2000	1200	5

Endereço/Address: Zona Industrial de Fages - Pav. 3 - Requião - Apartado 75 - 4764-901 V. N. FAMALICÃO - PORTUGAL
Telef./Phone: +351 252 374378 / 315329 - Fax: +351 252 373061
Email: geral@tequimaq.pt - website: www.tequimaq.pt

SCC

TEQUIMAQ

Máquinas para a Indústria Química e Corticeira, Lda



Máquina de separação fina de granulado por volumetria. Esta máquina foi concebida de modo a que o granulado entre pela boca superior, e por um processo de movimento circular horizontal à cabeça da máquina, o granulado se espalhe pelas redes e caia por gravidade entre elas. Assim saindo o mais fino na última boca de saída.

Endereço/Adress: Zona Industrial de Fages - Pav. 3 - Requião - Apartado 75 - 4764-901 V. N. FAMALICÃO - PORTUGAL
 Telef./Phone: +351 252 374378 / 315329 - Fax: +351 252 373061
 Email: geral@tequimaq.pt - website: www.tequimaq.pt